

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA A
LOCALIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS.**

O caso da região Sul da ilha de Santiago, Cabo Verde.

ADILSON VAZ CABRAL

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO, ÁREA DE
ESPECIALIZAÇÃO EM DETECÇÃO REMOTA E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Setembro, 2012

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA A
LOCALIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS.**

O caso da região Sul da ilha de Santiago, Cabo Verde.

ADILSON VAZ CABRAL

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO, ÁREA DE
ESPECIALIZAÇÃO EM DETECÇÃO REMOTA E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Setembro, 2012

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território, Área de Especialização em Detecção Remota e Sistema de Informação Geográfica, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Jorge Ferreira e do Professor Doutor José António Tenedório.

Apoio financeiro do Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento (IPAD) no âmbito de cooperação com Cabo Verde.

DECLARAÇÕES

Declaro que esta dissertação é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia.

O Candidato,

Adilson Vaz Cabral

Lisboa, 28 de Setembro de 2012

Declaro que esta dissertação se encontra em condições de ser apresentada a provas públicas.

O Orientador,

Professor Doutor Jorge Ricardo da Costa Ferreira

Co-Orientador,

Professor Doutor José António Tenedório

Lisboa, 28 de Setembro de 2012

DEDICATÓRIA

À Rayssah Dias Cabral, minha filha

AGRADECIMENTO

Meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que de uma forma ou outra deram contribuições valiosas para a execução desta dissertação.

Aos Professores Jorge Ferreira e José António Tenedório, pela disponibilidade, compreensão, ensinamento e por todas as sugestões relevantes durante a orientação científica desta investigação, o meu reconhecimento;

Aos professores dos diferentes seminários de mestrado em Gestão do Território pelos ensinamentos e disponibilidade;

Ao professor José Eduardo Ventura pela leitura especializada bem como pelas suas sugestões e críticas muito úteis;

Ao amigo Gilberto Tavares, pelo material científico fornecido e pelas críticas construtivas, feitas a esta dissertação, o meu agradecimento;

Os meus agradecimentos também à Câmara Municipal da Praia (CMP), à Câmara Municipal de São Domingos (CMSD), à Direcção Geral do Ordenamento do Território (DGOT) e ao Instituto Nacional das Estatísticas de Cabo Verde (INE) por toda a informação disponibilizada;

Ao IPAD pelo apoio financeiro, sem o qual não teria tido condições para frequentar o mestrado;

À minha mãe Bernarda José Carvalho (Naná) pela educação e transmissão de valores que me orienta;

Aos meus irmãos José Cabral, José Daniel Cabral, Dilva Cabral, Sandra Cabral, Gilson Cabral, Tatiana Gonçalves, Fátima Gonçalves e o meu padasto Emidio Gonçalves, pelo carinho e incentivos que sempre me dedicaram, a minha gratidão;

À minha amiga Rosa Silva, pelo apoio incondicional, pela amizade e pelo incentivo desde fase da candidatura do mestrado;

À Susana Veloso pela paciência, apoio, companheirismo e amor demonstrado ao longo desses anos;

À Natália Dias pelo facto de cuidar e educar a nossa filha sozinha durante esses dois anos;

Aos meus amigos Jailson Cunha, José Pinto, Janilson Vieira, Denilson da Moura e Octávio Vieira pelo encorajamento e apoio;

Aos colegas e amigos Fernando Jorge Almeida e Óscar Antunes;

Ao colega e amigo Daniel Semedo pela revisão dos textos

ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA A LOCALIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS.

O caso da região Sul da ilha de Santiago, Cabo Verde.

Adilson Vaz Cabral

RESUMO

A localização de um aterro constitui um processo complexo de planeamento, pela necessidade de compatibilizar as variáveis sociais, ambientais e económicas, o que requer uma análise criteriosa destes parâmetros com o intuito de mitigar os impactos ambientais e socioeconómicos. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode auxiliar na resolução dos problemas de localização, devido à sua capacidade de integrar um grande volume de informações espaciais de diversas naturezas, constituindo assim um instrumento de extrema importância no auxílio à tomada de decisão por parte das autoridades municipais.

O presente estudo utiliza a análise multicritério em SIG para a localização de aterro sanitário na região Sul da ilha de Santiago, Cabo Verde. A metodologia apresentada baseia-se num SIG raster com integração da análise multicritério e do Analytical Hierarchy Process (AHP).

A análise multicritério avalia a aptidão da área de estudo enquanto que, o AHP hierarquiza o problema e define a importância relativa dos critérios.

Para identificar as áreas com aptidão para localizar o aterro, foram utilizados catorze critérios. As áreas candidatas estão divididas em Nula, Baixa, Média e Alta aptidão. Estas, resultam da sobreposição dos critérios com base nos pesos. Nas áreas com aptidão elevadas, efectuou-se selecção dos locais com superfícies iguais ou superiores a 13,9 ha como sendo os locais óptimos para a implantação do aterro sanitário.

Palavras-Chave: Resíduos sólidos, aterro sanitário, sistema de informação geográfica, análise multicritério, Analytical Hierarchy Process

MULTIPLE CRITERIA ANALYSIS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR THE LOCATION OF SANITARY LANDFILL.

A case study in the Southern region of Santiago Island, Cape Verde

Adilson Vaz Cabral

ABSTRACT

The location of a landfill constitutes a complex process of planning, due to the need to match the social, environmental and economic variables. This requires a careful analysis of parameters in order to mitigate the environmental and socio-economical impacts. The Geographic Information System (GIS) can assist in solving problems of location based on its ability to integrate large amounts of different spatial information, thus being an extremely important tool in assisting decision making processes by the municipal authorities.

The present study uses multiple criteria analysis in GIS for the location of sanitary landfill in the southern region of the island of Santiago, Cape Verde. The methodology is based on GIS grid with integration of multiple-criteria analysis and Analytical Hierarchy Process (AHP).

The multiple-criteria analysis evaluates the ability of the several areas using AHP ranks to define the relative significance of the criteria.

In order to identify the possible areas to locate the landfill, fourteen criteria were used. The result (due to the overlap of the criteria based on a relative significance), distinguished 4 levels of potential: Zero, Low, Medium and High suitability. In the end, and looking only to the areas considered with high suitability, a final selection was made. Only locations equal or higher than 13,9 hectares, were considered as potential places for the implementation of the sanitary landfill.

Keywords: Solid waste, landfill, Geographic Information System, multiple criteria analysis, Analytical Hierarchy Process

ÍNDICE

Introdução	1
1. Objectivo do trabalho	4
2. Estrutura da dissertação	5
Capítulo I – Localização de aterros sanitários com recursos a Sistemas de Informação Geográfica	6
1. Análise multicritério em Sistemas de Informação Geográfica	6
2. Avaliação de peso para os critérios em problemas de localização	7
2.1 Método baseado no ordenamento de critérios	7
2.2 Métodos baseados em escalas de pontos	8
2.3 Analytic Hierarchy Process (AHP)	8
3. Normalização de critérios	11
4. Sistema de Informação Geográfica e localização de equipamentos	12
5. Aplicações em Sistemas de Informação Geográfica	15
Capítulo II - Procedimentos metodológicos de análise multicritério em Sistemas de Informação Geográfica para a localização de aterro sanitário	19
1. Metodologia: fases e procedimentos de implementação	19
Capítulo III - Gestão dos resíduos sólidos em Cabo Verde	28
1. Enquadramento legal	28
2. Caracterização da situação dos resíduos sólidos em Cabo Verde	33
2.1 Breve enquadramento de Cabo Verde	33
2.2 Resíduos sólidos em Cabo Verde	34
Capítulo IV. Caso de estudo da Região Sul da Ilha de Santiago	38
1. Situação geográfica	38
2. Caracterização geológica	44
3. Caracterização demográfica e socioeconómica da população residente	47
3.1 Evolução da população.	47
3.1 Estrutura da população	48
4. Identificação das áreas com aptidão para localizar o aterro sanitário a partir da combinação da análise multicritério e do <i>Analytic Hierarchy Process</i>	52
4.1 Dados e material	52
4.2 Determinação dos pesos	53
4.3 Análise multicritério da área de estudo	56
4.3.1 Uso do solo	57
4.3.2 Hidrogeologia	66

4.3.3 Morfologia.....	71
4.3.4 Acessibilidade.....	74
4.3.5 Agregação final dos critérios.....	78
5. Cálculo da área necessária para o aterro sanitário.....	80
6. Resultados e discussão.....	83
Considerações Finais.....	86
Referências bibliográficas	88
Anexo	99

LISTA DE ABREVIATURAS

AS – Aterro Sanitário

SIG – Sistema de Informação Geográfica

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

AHP – Analytic Hierarchy Process

CE – Conselho Europeu

CI – Consistency Index

CMP – Câmara Municipal da Praia

CMSD - Câmara Municipal de São Domingos

CMRGS - Câmara Municipal de Ribeira Grande de Santiago

CR – Consistency Ratio

CV – Cabo Verde

DGOT - Direcção Geral do Ordenamento do Território

DST - Teoria de Dempster e Shafer

ESRI – Environmental Systems Research Institute

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

ha - Hectare

INE – Instituto Nacional de Estatísticas

IPAD – Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento

MAAP – Ministério de Ambiente, Agricultura e Pesca

MCDA - Análise de Decisão Multi-critério

MDT – Modelo Digital de Terreno

PANA – Plano de Acção Nacional para o Ambiente

PDM – Plano Director Municipal

RI - Random Index

QUIBB – Questionário Unificado de Indicadores Básicos do Bem-Estar

TIN - Triangulated Irregular Network

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

ZDTI – Zona de Desenvolvimento Turístico Integral

ZEE – Zona Económica Exclusiva

Introdução

Entende-se por Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), “ um conjunto de materiais com consistência predominantemente sólida, de que o seu possuidor pretenda ou tenha necessidade de se desfazer, podendo englobar o que resta de matérias-primas após a sua utilização e que não possa ser considerado subproduto ou produto” (Levy & Cabeças, 2006, p. 6).

“No âmbito dos resíduos sólidos gerados pela sociedade nos nossos dias, cabe aos resíduos sólidos urbanos a maior e mais volumosa fatia desses desperdícios, motivo por que tem vindo a constituir um factor de crescente preocupação. Tem-se assistido a uma verdadeira explosão na produção de resíduo derivado do aumento do consumo público e, ao mesmo ritmo, um decréscimo do peso específico dos resíduos” (Russo, 2003, p. 7).

Foi ao longo do século XX, na sequência do desenvolvimento tecnológico e científico, que o destino dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) passou a constituir um problema para os grandes centros urbanos. Este problema deve-se ao aparecimento de novos materiais industriais de natureza inorgânica e de lenta decomposição e ao progressivo crescimento da densidade populacional nos centros urbanos, devido ao êxodo rural e ao surgimento de uma sociedade cada vez mais consumista, onde a escolha de produtos se tornou mais diversificada.

“A crescente urbanização e industrialização das sociedades modernas tem originado uma produção exponencial de resíduos sólidos, o que é um problema que urge encarar com frontalidade no sentido de se encontrarem as melhores soluções técnicas para o minimizar” (Russo, 2003, p. 9).

Os aterros sanitário, não obstante a forte oposição social e algum risco para os lençóis freáticos, têm sido uma alternativa ambiental e economicamente viável para a gestão dos RSU, em todo o mundo, pelo facto de minimizar os impactos ambientais e socioeconómicos.

Segundo a legislação europeia, “aterro” é uma instalação de eliminação para a disposição de resíduos acima ou abaixo da superfície natural.

A deposição de resíduos sólidos em aterros sanitários constitui a solução mais económica e tecnicamente menos complicada, sendo o método mais aconselhado ao nível municipal, em especial para aglomerados populacionais pouco densos ou dispendo de verbas escassas (Farinha e Barata, 1993).

Por seu turno, Levy e Cabeças, (2006) defendem que dentro do leque de soluções para o tratamento dos RSU possíveis de viabilizar, actualmente, o aterro sanitário é e será sempre, uma componente essencial de um sistema de Gestão Integrada de RSU e uma solução omnipresente, quer no fim da linha, como complemento indispensável de outros processos de tratamento de RSU, quer como solução única de tratamento.

Para Farinha e Barata (1993), a deposição de resíduos sólidos em aterros deverá ser sempre implementada, uma vez que qualquer outro sistema, como estações de tratamento ou centrais incineradoras, originam subprodutos, que deverão ter um destino final.

No entanto, a localização de um aterro constitui um processo complexo de planeamento, pela necessidade de compatibilizar as variáveis sociais, ambientais e económicas, o que requer uma análise criteriosa destes parâmetros no intuito de mitigar impactos ambientais e socioeconómicos. A correcta utilização das ferramentas dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) pode auxiliar na resolução dos problemas de localização, devido à sua capacidade para integrar um grande volume de informações espaciais de diversas naturezas, constituindo assim um instrumento de extrema importância no auxílio à tomada de decisão por parte das autoridades municipais. A visualização dos resultados, através da representação gráfica, constitui uma outra vantagem dos SIG.

“O acesso à informação variada, actualizada e facilmente acessível torna-se indispensável para compreender os referidos problemas. Os meios técnicos, designadamente os SIG, são fundamentais para permitir a análise da informação urbana, bem como para a simulação de cenários alternativos no suporte à tomada de decisão” (Henrique, 2008: 29).

O Relatório sobre o Estado do Ambiente de Cabo Verde aponta, como maiores problemas ambientais que o país enfrenta, o insuficiente ordenamento do território, a poluição por deposição de resíduos sólidos (quantidade enorme de embalagens não biodegradáveis) em locais inadequados, inexistência de tratamento dos resíduos sólidos, derrame de óleos usados e inexistência de indústria de reciclagens no país. As principais preocupações estão voltadas para as repercussões que podem ter sobre a saúde humana e sobre o ambiente (solo, água, ar e paisagens), pois, os resíduos, quando incorrectamente geridos, tornam-se uma grave ameaça não só para geração presente, como também, principalmente, para a geração futura.

Segundo os dados do QUIBB-CV (2007), apenas 63% da população, em Cabo Verde, está coberta pelo sistema de recolha de resíduos sólidos. Não existe nenhum aterro sanitário ou outra forma de tratamento dos resíduos sólidos com excepção da incineradora do hospital central de Praia.

Actualmente a Região Sul da ilha de Santiago (objecto do nosso trabalho) enfrenta os mesmos problemas ambientais que o país. Trata-se de uma região constituída por três municípios: São Domingos, Ribeira Grande Santiago e Praia, sendo este último, a capital e a principal urbe de Cabo Verde. Nessa região residem 153852 habitantes que representam cerca de 56% da população da ilha de Santiago e 31 % da população do país.

A deficiente gestão dos resíduos sólidos nesta Região foi e continua a ser o “calcanhar de Aquiles” dos órgãos municipais e dos municípios, contribuindo para a poluição ambiental e visual. A Região não dispõe de aterro sanitário e a deposição final dos RSU é feita numa lixeira a céu aberto com a subsequente queima, constituindo um foco de poluição e uma séria ameaça à saúde pública.

Perante essa situação, a construção de um aterro sanitário constitui-se como uma mais-valia para a gestão dos resíduos.

Face ao exposto, a primeira preocupação a ter em conta deverá ser a localização, por isso, consideramos pertinente levantar a seguinte questão: Qual é a área da região Sul de Santiago com maior nível de aptidão para localizar um aterro sanitário?

Para responder a esta questão, em ambiente SIG, será construído um modelo optimizado e eficaz para extrair as áreas para a localização de aterro sanitário, utilizando a análise multi-critério integrada em SIG, recorrendo ao método Analytic Hierarchy Process (AHP) implementado em ArcGIS[®] 10 da ESRI. Esta técnica de decisão possibilita a utilização e a combinação de dados georreferenciados e, ainda, a conjunção de diversos critérios, que podem ter influência positiva ou que podem funcionar como áreas de exclusão.

O estudo desta natureza justifica-se plenamente, visto que uma das grandes preocupações da actualidade consiste em encontrar os melhores locais (ambientalmente favoráveis, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis) para o destino final dos RSU e, para o efeito, torna-se necessária uma abordagem científica isenta de qualquer subjectividade. Por outro lado, o facto de a ilha não dispor de qualquer aterro sanitário já justificaria esta investigação aplicada.

1. Objectivo do trabalho

O Objectivo geral desta investigação é, a partir da integração do SIG com a análise multicritério, identificar áreas óptimas para a localização de um aterro sanitário, na Região Sul da ilha de Santiago, dentro dos requisitos legais e minimizando os impactos ambientais e socioeconómicos.

Em termos específicos os nossos objectivos são:

- a) Identificar os critérios que podem integrar no modelo a ser desenvolvido, de acordo com a literatura internacional adaptando-os à legislação Cabo-verdiana e às características da área de estudo;
- b) Criar um banco de dados espaciais necessário para a localização de um aterro sanitário;
- c) Determinar o peso de cada critério/subcritério a partir do método AHP;
- d) Analisar a aptidão física e legal para a localização de Aterros Sanitários, assim como a aptidão preferencial e a viabilidade;
- e) Construir um modelo para extrair áreas para a localização de um aterro sanitário na área de estudo, a partir da análise multicritério;

2. Estrutura da dissertação

A dissertação desenvolve-se em quatro capítulos, para além da introdução e considerações finais.

O **Capítulo I** centra-se no *estado da arte* da temática da localização de aterros sanitários utilizando os Sistemas de Informação Geográfica, com enfoque numa análise multicritério. Abordam-se os métodos disponíveis para a avaliação e normalização de pesos de critérios, assim como, a localização de equipamentos em ambiente SIG e aplicações em Sistemas de Informação Geográfica.

No **Capítulo II** apresentam-se os procedimentos metodológicos de análise multicritério em Sistemas de Informação Geográfica para a localização de aterro sanitário e descrevem-se as fases e os procedimentos de implementação.

O **Capítulo III** dedica-se à gestão dos resíduos sólidos em Cabo Verde. O capítulo inicia-se com uma referência à legislação Cabo-verdiana referente aos resíduos sólidos, fazendo uma breve apresentação do país e caracterizando-se a situação dos resíduos sólidos do país.

O **Capítulo IV** ocupa-se do caso de estudo da região Sul da ilha de Santiago. Aborda a situação geográfica e geológica da região, assim como os resultados da caracterização demográfica e socio-económica da população residente. São, ainda, apresentados os resultados das ponderações de critérios e da análise multicritério da área de estudo, de modo a identificar as áreas com melhores aptidão para localizar o AS.

Capítulo I – Localização de aterros sanitários com recursos a Sistemas de Informação Geográfica

1. Análise multicritério em Sistemas de Informação Geográfica

O sistema de informação geográfica é frequentemente utilizado como instrumento para compreensão e monitorização do território cada vez mais complexo. A necessidade de integrar informação de diversas naturezas, quando se faz a gestão do território, fez com que se intensificasse a frequência das aplicações dos SIG, nos últimos anos. Actualmente, é comum utilizar as suas ferramentas para simular os possíveis cenários resultantes de determinadas decisões ao nível do planeamento e do ordenamento do território.

A tecnologia SIG diferencia-se dos demais sistemas de informação, pela sua capacidade de integrar dados espaciais e atributos alfanuméricos, para além de permitir a visualização dos mesmos, através de mapas.

Os sistemas de informação geográfica são programas destinados à aquisição, gestão, análise e apresentação de informação georreferenciada. Utilizando a informação organizada em diferentes níveis temáticos é possível fazer várias operações de análise lógica, estatística e matemática, apresentado os resultados numa carta ou numa tabela. Este tipo de ferramenta revolucionou a monitorização e a gestão dos recursos naturais e o uso do solo, não sendo, portanto surpreendente o interesse crescente no desenvolvimento de abordagens de suporte à decisão baseada em SIG, de acordo com Ramos (2000) citando Eastman et al., (1993, 1994), Eastman (1998), Carver (1991), Janssen e Rietveld, (1990), Honea et al., (1991).

Segundo Gonçalves (2007), a avaliação multi-critério pode ser implementada num SIG através de um dos dois procedimentos seguintes:

O primeiro envolve a sobreposição booleana, em que os critérios são adaptados à lógica binária (0/1), em termos da aptidão, combináveis sequencialmente, através de operadores como a intersecção (AND) e a união (OR). Neste método não há a ponderação das entradas, de acordo com os seus níveis de importância. Embora este seja prático, normalmente não é o mais adequado, pois, o ideal é que as variáveis com importâncias relativas diferentes recebam pesos diferentes e não sejam tratadas igualmente (Moreira, F. et al., 2004). As combinações booleanas são abordagens práticas e de simples de aplicação;

O segundo envolve a lógica fuzzy, combinação de critérios contínuos, através da normalização para uma escala contínua (por exemplo 0 a 1) e da aplicação de pesos para obter média pesada. Este método diminui a subjectividade na tomada de decisão e é muito comum a sua utilização para padronizar (transformação de unidades de medidas diferentes numa única base de comparação) os factores presentes num modelo multicritério. Por razões que remontam à facilidade com que estas abordagens possam ser implementadas, a sobreposição booleana tem dominado as aplicações em SIG vectoriais, enquanto a lógica fuzzy domina as aplicações em SIG raster (Ramos, 2000).

2. Avaliação de peso para os critérios em problemas de localização

Numa extensa revisão bibliográfica pode-se constatar que o método para a definição dos pesos dos critérios não é consensual e a quantificação de importância relativa de cada critério constitui uma das grandes dificuldades encontradas num processo de decisão que envolve a análise multicritério.

Os métodos baseados no ordenamento de critérios, que se baseiam em escala de pontos e o método AHP, são alguns dos que têm sido utilizados, com alguma frequência na literatura, no processo de decisão da análise multicritério.

2.1 Método baseado no ordenamento de critérios

Este método consiste no simples ordenamento de critérios de acordo com a ordem de importância atribuída pelo decisor. Ao critério mais importante é atribuído a ordem 1, ao segundo mais importante a ordem 2 e assim sucessivamente. Estabelecido este ordenamento, os pesos podem ser gerados por diversos procedimentos (Ramos, 2000).

Segundo Ramos (2000) citando Stillwell et al., 1981, esses procedimentos são: Rank Sum, que utiliza a ordem no ranking e o Rank recíproco, que utiliza a ordem inversa.

As equações que permitem obter os vectores de pesos são as seguintes:

$$\text{Rank sum : } w_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum_k (n - r_k + 1)}$$

$$\text{Rank recíproco: } w_j = \frac{1/r_j}{\sum_k (1/r_k)}$$

Onde w_j é o peso normalizado do critério j , r_j a ordem do mesmo critério e n o numero de critérios.

Estes métodos são atractivos dada a sua simplicidade, em geral e à medida que o número de critérios aumenta, a aplicação destes métodos torna-se inadequado, o que torna o seu interesse limitado (Voogd, 1983).

2.2 Métodos baseados em escalas de pontos

Sempre que a avaliação directa é possível, a escala de pontos surge como uma alternativa muito simples de atribuir pesos a critérios (Ramos, 2000).

Osgood, et al (1957) desenvolveram inicialmente este método, entendendo que uma diferenciação em sete níveis é suficiente para expressar preferências (figura1). Neste método, para cada critério, é escolhido um valor pertencente a uma escala de um a sete, sendo o significado de cada um dos valores interpretado com o recurso ao princípio da semântica diferencial (a escala é marginada por duas expressões opostas).

Insuficiente	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	Suficiente
--------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	------------

Figura 1 - Escala de sete pontos

2.3 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Este método é o que merece maior atenção devido aos objectivos deste trabalho. Desenvolvida por Thomas Saaty (1980, 2000, 2008) no contexto dum processo de tomada de decisão denominado Analytic Hierarchy Process (AHP), a metodologia de comparação par-a-par é deveras mais complexa, mas os resultados e os procedimentos adequam-se melhor ao problema de localização do aterro sanitário do que os dois métodos já apresentados, pois permite uma avaliação da importância relativa dos critérios utilizados.

Sendo n o número de critérios a comparar, esta técnica apoia-se numa matriz quadrada de comparação de $n \times n$, onde ao longo das linhas e das colunas estão dispostos os critérios segundo a mesma ordem. Tem-se, assim, que a_{ij} representa a importância relativa do critério da Linha i face ao critério da coluna j . Dado que a matriz é recíproca, apenas é necessário analisar a metade triangular inferior (Ramos, 2000).

$$a_y = \frac{1}{a_y} \text{ e } a_y = 1$$

Com o intuito de normalizar todas as comparações par-a-par efectuadas, Saaty (1980) propôs uma escala de comparação de critérios alicerçada em nove níveis numéricos (Tabela 1), invocando uma maior fiabilidade desta escala face a outras mais curtas.

Tabela 1– Escala de comparação de critérios segundo Saaty

Tabela 1 – Escala de comparação de critérios segundo Saaty		
Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância:	Os dois critérios contribuem de uma forma idêntica para o objectivo;
3	Pouco mais importante	A análise e a experiencia mostram que um critério é pouco mais importante que o outro;
5	Muito mais importante:	A análise e a experiencia mostram que um critério é claramente mais importante que o outro;
7	Bastante mais importante:	A análise e a experiencia mostram que um critério é predominante para o objectivo;
9	Extremamente mais importante:	Sem qualquer dúvida, um dos critérios é absolutamente predominante para o objectivo;
2,4,6,8	Valores intermédios:	O compromisso é sempre aceitável;
Valores recíprocos dos anteriores	Se um critério i possui um dos valores anteriores quando comparado com o critério j, então o critério j possui o valor recíprocos quando comparado com o critério i.	
Nota: valores 1.1, 1.2 ..., 1.9, ou ainda mais refinados, podem ser utilizados para comparações de critérios extremamente próximos em grau de importância, tal como para 2.0 até 2.9, etc		

Fonte: Saaty (1980)

A determinação dos pesos processa-se ao longo de sete etapas¹:

Etapla 1: Construção da matriz de comparação par-a-par;

Etapla 2: Cálculo do eigenvector principal;

$$Aw = \lambda_{\max} w$$

Em que A é a matriz de comparação par-a-par, λ_{\max} é o máximo eigenvalue da matriz A e w é o vector de pesos pretendido. O valor do vector w pode então ser obtido pela equação:

$$w_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} / \sum_{k=1}^n \left[\left(\prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{1/n} \right]$$

¹ O *software Expert Choice* desenvolvido pelo próprio Saaty simplifica este processo.

Etapa 3: Cálculo do máximo eigenvalue;

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \left(\frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_2}{w_{21}} + \dots \frac{w'_n}{w_n} \right)$$

Sendo o vector w obtido da seguinte forma:

$$w' = A \times w$$

Etapa 4: Cálculo do índice de consistência (CI-Consistency Index);

O valor do CI é obtido pela equação:

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$$

Etapa 5: Cálculo do índice de aleatoriedade (RI-Random Index);

Saaty (1980) propôs valores para RI através do cálculo do valor médio de CI obtido para matrizes recíprocas geradas aleatoriamente (tabela 2).

Tabela 2 - Índice de aleatoriedade (RI) para $n = 1, 2, \dots, 15$

n	RI	n	RI	n	RI
1	0.00	6	1.24	11	1.51
2	0.00	7	1.32	12	1.48
3	0.58	8	1.41	13	1.56
4	0.90	9	1.45	14	1.57
5	1.12	10	1.49	15	1.59

Fonte: Adaptado de Saaty, 1980

Etapa 6: Cálculo do grau de consistência (CR-Consistency Ratio) através de:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 \sim 10\%$$

O grau de consistência é obtido pela relação CI/RI , para matrizes da mesma dimensão.

Etapa 7: *eventual reavaliação da matriz de comparação se CR superior a 0.1.*

A reavaliação da matriz é efectuada só quando o valor do CR for inferior a 0.1

Embora seja um método mais complexo e demorado, que por vezes impõe a interação para garantir um grau de consistência aceitável, os resultados e o próprio procedimento adequam-se perfeitamente a problemas em que os critérios se encontram hierarquizados, traduzindo o processo de decisão. Desde modo, apenas se estabelecem comparações par-a-par entre critérios de nível hierárquico idêntico (Ramos, 2000).

3. Normalização de critérios

O processo de normalização consiste em transformar todos os valores de avaliação dos diferentes critérios (valores não comparáveis entre si), para uma mesma escala. Este processo viabiliza a agregação destes critérios e posteriormente, à respectiva combinação (Ramos, 2000).

No processo de normalização de critérios utilizam-se frequentemente os valores máximos e mínimos para a definição de uma escala.

A normalização dos critérios em SIG é frequentemente obtida através da função de reclassificação. “*Numa função de reclassificação os valores numa matriz são alterados em função de um conjunto de condições*” (Matos, 2008, p. 134). Para este autor “*um tipo de matriz de particular interesse nas operações de análise espacial, obtida directamente ou por reclassificação, é uma matriz composta por $z_{ij} \in \{0,1\}$, habitualmente designada por máscara. A multiplicação de uma máscara por uma matriz M tem como resultado uma matriz com valores iguais aos de M nas células em que a máscara tem o valor 1 e o valor 0 nas restantes células*” (Matos, 2008, p. 134).

A *variação linear* é uma forma simples de definir uma escala, definida da seguinte forma (Estman, 1997):

$$X_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} * Intervalo_normalizado$$

Em que R_i é o valor da pontuação (score) a normalizar e R_{max} e R_{min} são os scores mínimo e máximo, respectivamente.

Lógica *fuzzy* é uma outra forma de normalização de critérios na avaliação multicritério, segundo o qual um conjunto de valores expressos numa escala de valores é convertido num outro comparável, expresso numa escala normalizada (por exemplo 0-1). O resultado expressa um grau relativamente à pertença a um conjunto (designado por *fuzzy membership* ou possibilidade) que varia 0.0 a 1.0, indicando um crescimento contínuo, desde não-pertença até pertença total, na base do critério submetido ao processo de *fuzzification*² (Ramos, 2000)

² *Fuzzification* é a expressão original apresentada por Zadeh (1956), para a qual não se adoptou qualquer tradução. O mesmo acontece para a palavra *fuzzy* (Ramos, 2000, p. 74).

Para a normalização dos critérios, segundo a lógica fuzzy “várias são as funções que podem ser utilizadas para reger a variação entre o ponto mínimo, a partir do qual os valores de score do critério começam a contribuir para a decisão, e o valor máximo, a partir do qual scores mais elevados não trazem contribuição adicional para a decisão. As mais usadas são: Sigmoidal, J-Shaped, Linear e complexa” (Zadeh, 1995; Eastman, 1997; Mendes, 2000, cit. Ramos 2000, p. 75).

4. Sistema de Informação Geográfica e localização de equipamentos

Pelo facto de envolver um grande número de variáveis e enormes volumes de dados, a localização de equipamentos ou de infraestruturas constitui um problema complexo de se resolver, devido à necessidade de determinar a melhor localização dos mesmos.

As primeiras aplicações sobre SIG para a análise de problemas de localização, surgiram por volta da década de 70. Segundo Gonçalves (2007, p.134), *“o facto de estes primeiros passos se terem dado praticamente no início da utilização de cartografia digital faz sobressair o interesse particular que houve desde logo na exploração de SIG para a resolução de problemas de localização. Alguns problemas de localização podem conter condicionantes espaciais de modelação geográfica complexa, o que motiva o recurso aos SIG para possibilitar o respectivo processamento, sendo também certo que esse interesse surge não apenas em virtude de a generalidade dos problemas em questão ter uma componente espacial, beneficiando por isso de toda a estrutura presente de origem no sistema para armazenamento e a visualização quer dos dados quer dos resultados, mas sobretudo devido ao facto de que a informação espacial presente em tais problemas pode, em muitos casos, ser analisada através de funções incorporadas na maior parte dos SIG mais divulgados.”*

Para Matos (2008), o problema da localização em ambiente SIG é abordável em quatro fases:

1ª Fase: Identificação das variáveis disponíveis que favorecem ou prejudicam uma dada localização. Esta fase é específica para cada estudo ou aplicação, podendo incluir aspectos legais, naturais e socioeconómicos. Para Gonçalves (2007), nesta etapa, faz-se o levantamento dos dados referentes aos elementos de oferta e procura e ainda são apontados os factores que condicionam o nível de aptidão de cada local em causa. Por exemplo, se o problema consistir em localizar um campo de golfe numa área urbana, em função do declive, das vias, entre outros factores, é necessário dispor de dados georreferenciados referentes à malha urbana, aos declives, às vias, entre outros.

2ª Fase: Modelação espacial dessas variáveis. A modelação espacial das características relevantes para uma análise de localização depende, obviamente, das características da informação disponível ou quando a aquisição é economicamente comportável. Nesta etapa, é frequente o recurso a simplificações relativamente aos dados específicos para a resolução do problema. A modelação espacial da informação é condicionada por diversos factores, como a qualidade, a escala e a generalização dos dados.

Nesta fase podem ser aplicadas as funções de análise espacial, que permitem obter em ambiente do SIG a tradução, entre outros, dos conceitos de proximidade, inclusão e vizinhança e suas combinações lógicas, especificando, assim, as condições que o problema inclui no seu enunciado (Gonçalves, 2007).

3ª Fase: A geração de soluções alternativas. A geração de soluções alternativas pode ser simples, se proveniente de um processo de sobreposição de condicionantes com fronteiras claramente definidas, ou complexa, se a valorização das características se processar por uma transição contínua no espaço ou se existirem demasiados graus de liberdade nas hipóteses.

“Na etapa de geração será desejável que a solução computacional possa permitir ao utilizador, de uma forma amigável, executar algoritmos de localização e de análise complementar, por exemplo, determinar zonas de serviço (service áreas) após a localização dos equipamentos” (Gonçalves, 2007, p.136)

4ª Fase: Avaliação das soluções geradas e decisão. Podem ser utilizados processos de apoio à decisão, dos quais um dos mais utilizados é a análise multicritério. *“Os SIG são tidos como a plataforma indicada para a aplicação de análise multicritério em problemas de natureza espacial”* (Gonçalves 2007, p. 139 citando Malczewski, 1999). Para Gonçalves (2007), as principais ferramentas disponibilizadas pelos SIG são tipificadas nas categorias seguintes:

- Métodos de sobreposição Booleana e métodos de combinação de critérios de domínio contínuo, frequentemente normalizados, para uma escala comum pela ponderação segundo médias ponderadas.

Os modelos de localização de facilidades têm sido propostos, há algum tempo, como ferramentas de auxílio à decisão espacial, principalmente, quando uma base de dados geograficamente referenciada se encontra disponível. Nestes casos, os Sistemas de Informações Geográficas são muito importantes na recolha e análise desses dados, pois, integram um sofisticado interface gráfico a uma base de dados georreferenciados, constituindo-se como poderosas ferramentas de análise e planeamento espacial. Problemas complexos de localização de facilidades podem ser tratados com SIG, levando-se em conta várias informações espaciais e, também, socioeconómicas (LIMA, 2003).

Um outro método utilizado para a localização de equipamento em ambiente SIG é a aplicação de algoritmos de Location-Allocation. *“Este algoritmo é um duplo problema que, simultaneamente, localiza o equipamento e aloca a procura aos mesmos. Deste modo, permite responder a questões como: qual o melhor local para instalar um novo equipamento ou de modo a fornecer uma melhor resposta à comunidade”* (Costa, 2010, p.34).

A combinação de um SIG e um modelo de *Location-Allocation* fornece uma poderosa ferramenta para suporte à decisão espacial, por constituir um dos modos de extrair novo conhecimento e de fornecer suporte à decisão (Costa, 2010). *“Os modelos de Location-Allocation são utilizados para resolver problemas complexos que envolvam um grande número de variáveis e grandes volumes de dados, recorrendo-se ao processamento de informação através de funções de análise espacial estruturadas num esquema algorítmico”* (Mapa, 2007; Gonçalves, 2007; Smith et al., 2007 cit Costa, 2010, p.31)

5. Aplicações em Sistemas de Informação Geográfica

Nas últimas décadas, a deposição do RSU em AS, tem sido comum em vários países, não obstante a complexidade da localização do mesmo devido, principalmente, à oposição social e à escassez de terra disponível. Segundo Siddiqui et al. (1996), a implantação de um aterro, exige uma extensa avaliação, a fim de identificar a melhor área disponível. Esta área deve cumprir os requisitos legais e ao mesmo tempo deve minimizar os impactos socioeconómicos, ambientais e de saúde.

A localização de um aterro exige a combinação de factores sociais, ambientais e económicos, o que o torna num processo extremamente complexo.

A implantação de um aterro municipal está a tornar-se cada vez mais difícil, devido à crescente consciência ambiental, à diminuição do financiamento por parte dos municípios e dos governos e à extrema oposição política e social. O aumento da densidade populacional, as preocupações com a saúde pública e a escassez de terra disponível para a construção de aterros são também dificuldades a superar (Kao, 1996).

Na literatura pode-se encontrar várias técnicas e critérios para a localização do aterro sanitário, em ambiente SIG. As abordagens mais comuns têm sido a integração do SIG com a análise multi-critério e o *Analytical hierarchy process* (AHP).

Siddiqui, et al., (1996) foram os primeiros a combinar o SIG e o AHP. O SIG foi utilizado para manipular e apresentar dados espaciais, enquanto o AHP foi usado para classificar potenciais áreas para a localização de aterro e avaliar o peso das variáveis. Esses autores utilizaram a hidrogeologia/geologia, o uso do solo e a proximidade dos centros urbanos como critérios de avaliação.

Kao e Lin (1996), criaram em ambiente SIG, um modelo raster para identificar áreas com melhores aptidões para localizar um aterro em Taiwan.

Valentine (1997) apresentou um sistema de análise multi-critério para a selecção de uma área para localizar um aterro na região de Urbino, em Itália.

Charnpratheep, et al. (1997), utilizaram a teoria dos conjuntos fuzzy e SIG para a triagem preliminar de aterros na Tailândia. No entanto, os autores recomendaram a realização de novos estudos utilizando outros critérios, nomeadamente, os socioeconómicos, os hidrogeológicos e os de segurança.

Kontos et al., (2005) e Javaheri, et al. (2006), fizeram a integração da análise multicritério e a AHP para resolver o problema de localização de aterros, na Grécia e no Irão, respectivamente. O método da AHP foi utilizado por esses autores para a definição dos pesos das variáveis.

Al-Jarrah e Abu-Qdais (2006), centraram-se sobre o problema da localização de um novo aterro, usando um sistema inteligente baseado em inferência fuzzy. Os critérios utilizados estão agrupados em topografia e geologia, recursos naturais, socioculturais e os de segurança.

Sener, et al. (2006), integrou o SIG e a análise de decisão multi-critério (MCDA) para resolver o problema da localização de um aterro sanitário e desenvolveu um ranking das potenciais áreas de aterro com base numa variedade de critérios. A utilização de SIG para uma triagem preliminar é normalmente realizada através da classificação de um mapa individual, com base em critérios seleccionados.

Chang, et al. (2008), combinaram o SIG com a análise de decisão multicritério para localizar um aterro sanitário na área suburbana da Cidade de Harlingen, estado do Texas nos Estados Unidos da América

Guiqin, et al. (2009), fizeram integração do SIG e análise multicritério e consideraram os factores financeiros e económicos como variáveis muito importantes para o problema de localização do aterro nos países em desenvolvimento.

Estudos recentes realizados em África recorreram a tecnologia de SIG para identificar os locais óptimos para a localização de aterros. Yahaya, et al. (2010), fizeram a integração do SIG com a análise multicritério para extrair áreas potenciais à implantação de aterros sanitários na Nigéria e utilizaram o método AHP para hierarquizar as duas áreas encontradas, com base na opinião de especialistas. Thoso (2007) utilizou o SIG para implementar um aterro na cidade de Bloemfontein, uma das principais cidades da África do Sul.

Da mesma forma, Hussin, et al (2010), utilizaram os procedimentos metodológicos baseados em análise multicritério, AHP e a combinação linear ponderada para identificar locais óptimos à localização de um aterro sanitário, no distrito de Klang, na Malásia.

Tayyebi, et al. (2010), utilizaram um método diferente dos métodos convencionais da integração do SIG com a análise multicritério. Fizeram a integração da análise multi-critério com a Teoria de Dempster e Shafer (DST) para identificar locais ótimos para a implantação de um aterro na cidade de Zanzan, Irão. Segundo estes autores esse método difere dos outros uma vez que a teoria de DST/AHP permite que sejam feitas comparações entre os grupos de alternativas simples e usa a regra de Dempster (combinação para agregar os critérios, em vez de simples multiplicações e adições). Ele fornece uma estrutura unificadora para representar a incerteza, pois pode incluir na mesma formulação os casos de risco e a ignorância.

No entanto, para além da análise multicritério da área de estudo e face a oposição social, alguns investigadores têm, recentemente, considerado a participação pública como um factor imprescindível para decidir a localização de aterros sanitários, em vários países (Higgs, 2006; Ishizaka e Tanaka, 2003; Fernandes, 2006).

Os resultados obtidos nesses estudos ao longo das últimas décadas demonstram a eficácia do uso das tecnologias do SIG na análise de decisão para a localização de aterros sanitários em vários países do mundo.

Em Cabo Verde foram já realizados alguns estudos sobre os resíduos sólidos e aterros sanitários, podendo-se destacar os seguintes:

BVA-Tecnologia Ambiental, Portugal (1998), “Tratamento de Resíduos por sistema ECOTRICOM - Métodos utilizados para a gestão adequada de RS, incluindo a reciclagem, tratamento envolvendo a incorporação das lamas resultantes das Estações de tratamento de Águas Residuais (ETAR’s) e rejeição final, bem como o Estudo Prévio para a recolha e tratamento de 140 toneladas diárias de RSU, constituindo por 5 estações ECOTRICOM e uma central de pirólise”;

Hidurbe-Gestão de Resíduos S.A., (1999), “Projecto de Concepção e Construção de um Aterro Sanitário, que tinha como objectivo a resolução do problema dos RSU da ilha de Santiago. Este projecto pretendia doptar o sistema dos RSU de uma solução integrada, que envolve o tratamento, eliminação, valorização e destino final dos RSU”.

Projecto CVE/053 – Gestão dos Resíduos Sólidos em São Nicolau (2000), “elaborado pela Câmara Municipal de São Nicolau, em colaboração com a cooperação Luxemburguesa, com o objectivo de contribuir para a melhoria das condições de

higiene pública e para a protecção do ambiente na ilha de S. Nicolau. Este projecto previa a construção de dois aterros controlados, o fornecimento de equipamento, a formação técnica do pessoal, o fornecimento de materiais de protecção para os trabalhadores e a realização de campanhas de sensibilização e informação. Para o funcionamento do sistema de RSU, seria fornecido no âmbito deste projecto, um apoio institucional ao município para a instalação de uma estrutura eficaz necessária à organização e gestão, durante o primeiro ano de funcionamento”;

Tavares, G. (2010), “Integração da incineração como valorização energética no sistema de gestão de RSU na ilha de Santiago: Planeamento, controlo do processo e actividades complementares” - Trabalho científica apresentado ao Instituto Superior Técnico, da universidade de Lisboa, para a obtenção do grau de doutoramento.

Capítulo II - Procedimentos metodológicos de análise multicritério em Sistemas de Informação Geográfica para a localização de aterro sanitário

1. Metodologia: fases e procedimentos de implementação

Nesta dissertação adoptar-se-á os procedimentos, de acordo com os objectivos propostos, de modo a responder à pergunta de partida. Optou-se pelo desenvolvimento de um SIG raster, no qual as exclusões são processadas através de operações booleanas enquanto os factores são processados por operações matemáticas ou lógicas. A implementação do modelo correspondente, num SIG raster, ao processamento de cada *pixel* numa imagem raster representativa do território em estudo, permitindo obter mapas contínuos de aptidão para a localização de um aterro sanitário (Ramos, 2000).

Utilizou-se a análise multicritério para avaliar a aptidão do território em estudo, ou seja, para identificar a área óptima e disponível à localização do aterro sanitário, dentro dos requisitos legais e minimizando os impactos socioeconómicos e ambientais, combinando com o SIG, de modo a analisar espacialmente os dados e o *Analytical hierarchy process*, para definir os pesos das variáveis.

No desenvolvimento deste processo de investigação foram operacionalizadas diferentes fases metodológicas para as diferentes etapas da pesquisa (cf figura 2) que se emuneram de seguida.

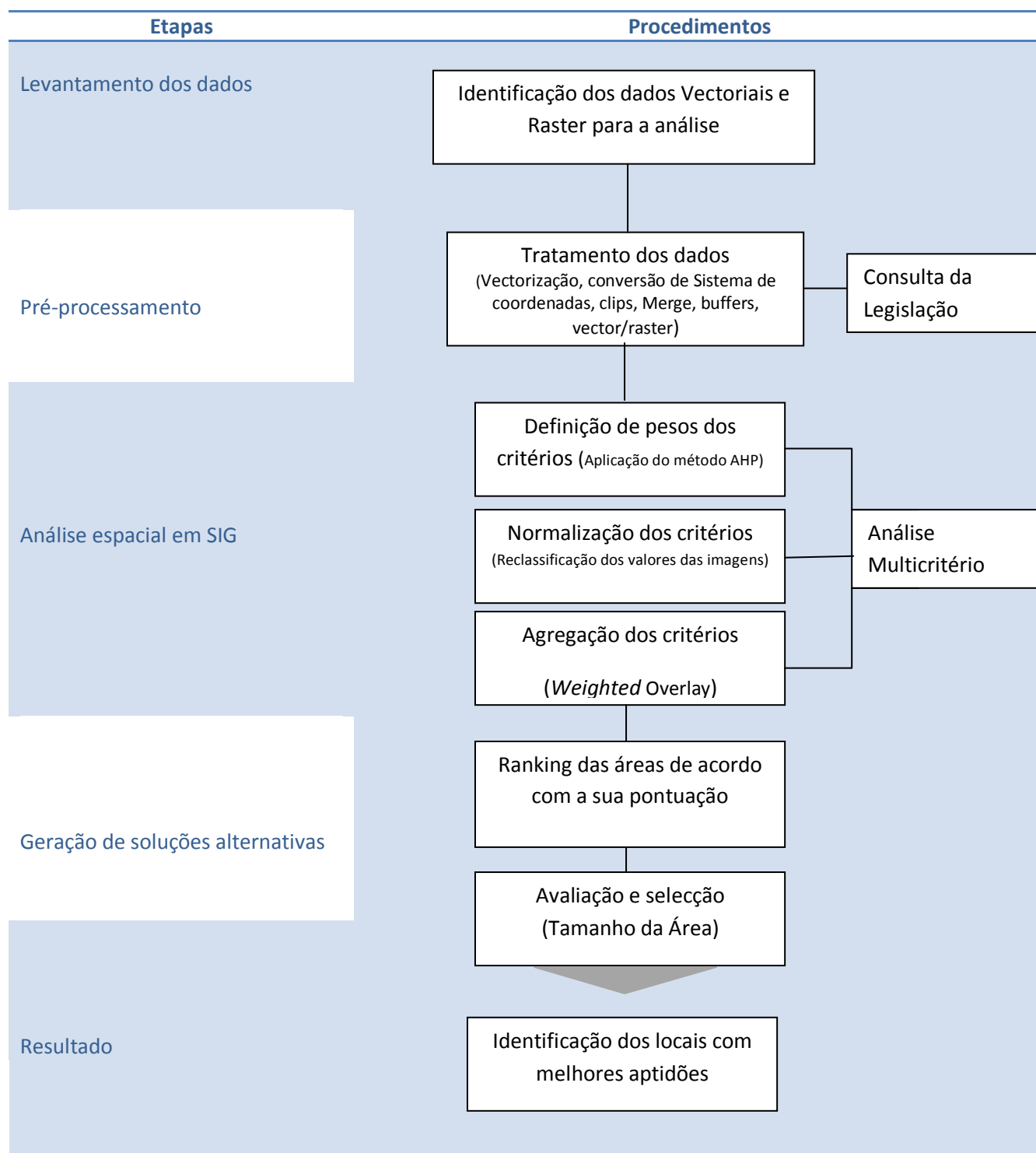


Figura 2- Fases e procedimentos metodológicos

1 - *Leitura exploratória e revisão de bibliografia de referência e de especialidade* - através da consulta de artigos científicos, documentos em diversas instituições e Centros de documentação, nomeadamente, bibliotecas centrais, municipais e universitárias, Direcção Geral do Ordenamento do Território (DGOT), Instituto Nacional de Estatística, Câmara Municipal da Praia, Câmara Municipal de São Domingos e Câmara Municipal de Ribeira Grande de Santiago entre outros, que serviram de suporte para o capítulo teórico e aprofundamento dos conceitos;

2 - *Identificação das variáveis dos inputs do modelo* - de acordo com a literatura internacional, nomeadamente Kontos et al., (2005), Siddiqui (1996), Tavares (2010), entre outros;

3 - *Extracção de informação espacial referente a área aeroportuária e a geologia* - a partir da vectorização do orto e da carta geológica da ilha de Santiago;

4 - *Criação de uma base de dados do tipo File Geodatabase*, - associado a uma representação espacial, com um sistema de referencia comum (WGS_1984_UTM_ZONE_27N e Projection_Transverse_Mercator), onde estão inseridas todas as informações espaciais. Dentro desta base de dados, criou-se dois conjuntos de dados (*dataset*), sendo um para armazenar os dados (vectoriais) após o seu tratamento e um outro para os resultados finais;

5 - *Tratamento das informações recolhidas* - Nesta etapa fez-se o recorte para extrair a informação da área de estudo e o agrupamento de informações referentes à hidrologia e à altimetria, além de procedermos às conversões das projecções e do *datum*, de modo a ficarem com um sistema de referência comum;

6 - *Atribuição dos valores com os critérios de avaliação/subcritérios de classificação e formação da estrutura hierárquica em ambiente SIG*;

7 - *Implementação AHP* - Para a definição dos pesos relativos dos critérios e subcritérios. Nesta etapa criou-se uma estrutura hierárquica da análise, com quatros níveis, figura 3 (Saaty 1980; V. R. Sumathi et. al 2007). O nível superior corresponde o objectivo final do processo de decisão (localização do aterro), o segundo nível, são os critérios principais que resultam da combinação dos seus respectivos subcritérios do terceiro nível e o quarto nível são os atributos dos subcritérios;

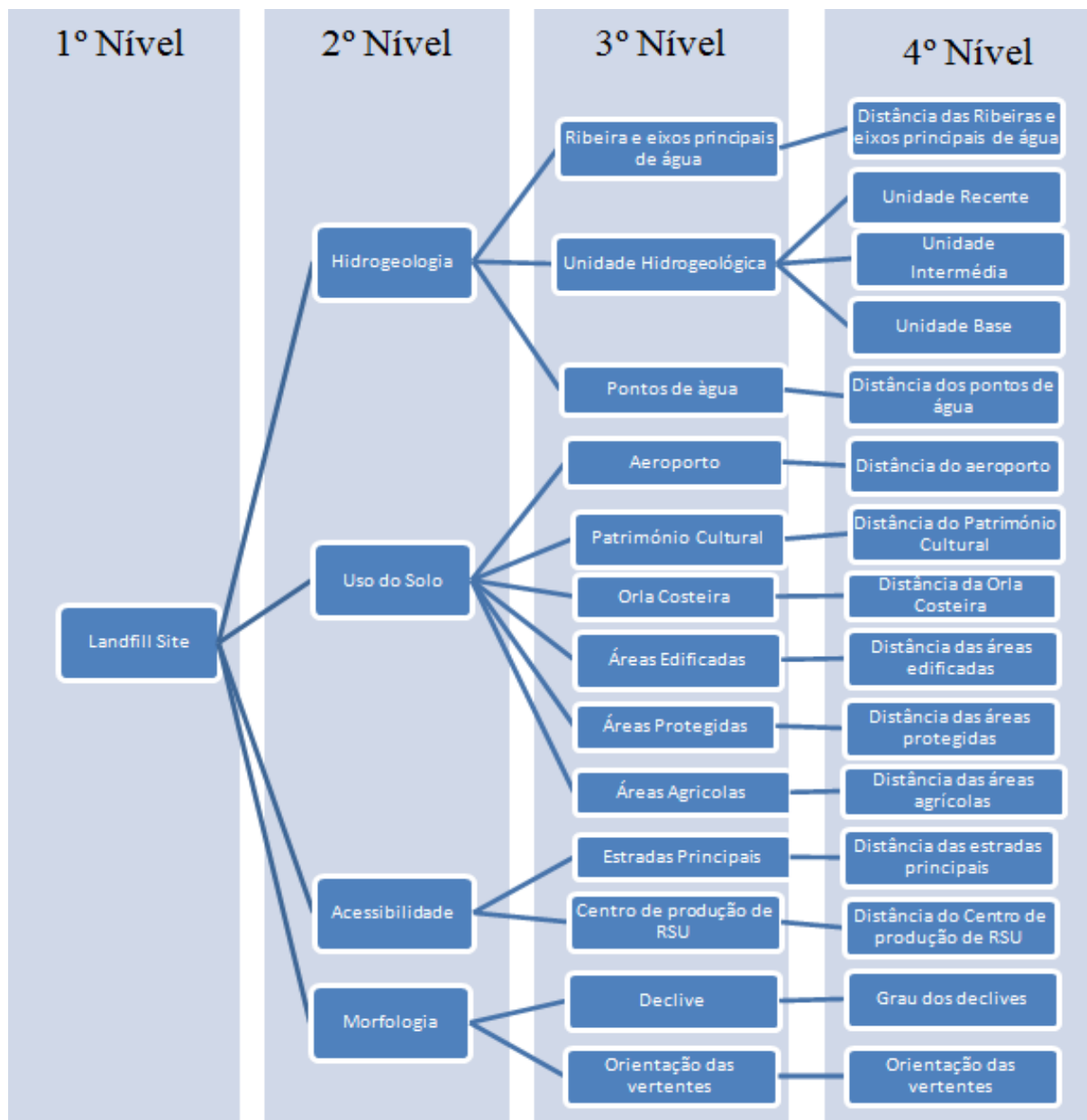


Figura 3- Estrutura hierárquica do modelo

8 - *Normalização dos critérios* - a partir da reclassificação dos valores das imagens, atribuindo-lhe diferentes pontuação, numa escala de 0 a 5 valores;

9 - *Agregação do peso dos critérios e valores de atributos* - para produzir o nível de aptidão da área de estudo;

10 - Cálculo da área necessária para o aterro sanitário e análise da viabilidade;

11- *Ranking das áreas* - de acordo com a sua dimensão.

A Construção de um modelo raster, em ambiente SIG permitiu extrair áreas para a localização de um aterro sanitário na Região Sul da ilha de Santiago através da integração da análise multicritério com a AHP. No modelbuilder do ArcGIS 10, desenvolveram-se várias operações de análise espacial em sistemas matriciais para a modelação de todos os critérios de análise:

a) Modelação da acessibilidade

Para a modelação da acessibilidade, calculou-se a distância, que permitiu gerar domínios (*Multiple Ring Buffer*), com base em critérios de proximidade. Após a conversão do tema vectorial para raster (*Feature to raster*), a imagem foi normalizada através da reclassificação (*Reclassify*) dos valores das imagens, alterando, desta forma, os valores das células de imagem resultando uma nova imagem.

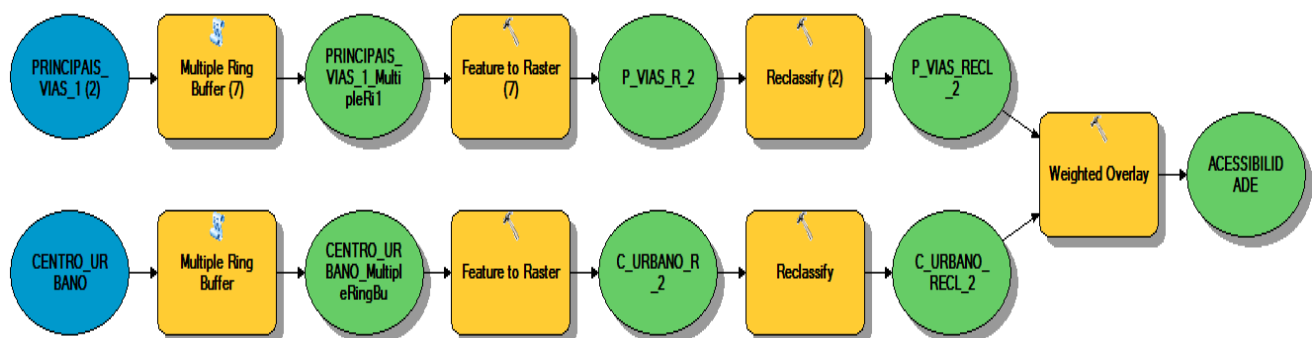


Figura 4- Operações utilizada para a modelação de Acessibilidade

Por último, gerou-se um novo tema, a partir da sobreposição das imagens, utilizando a ferramenta *Weighted Overlay*, do *spacial analyst tools*, como ilustra o fluxograma de análise da figura 4.

b) Modelação do uso do solo

Para a modelação deste critério seguiu-se os mesmos passos do modelo anterior. As formas de ocupação designadamente, a área edificada, área agrícola, orla costeira, área protegida, área cultural, aeroporto e zona de desenvolvimento turístico integral, foram os parâmetros utilizados (figura 5).

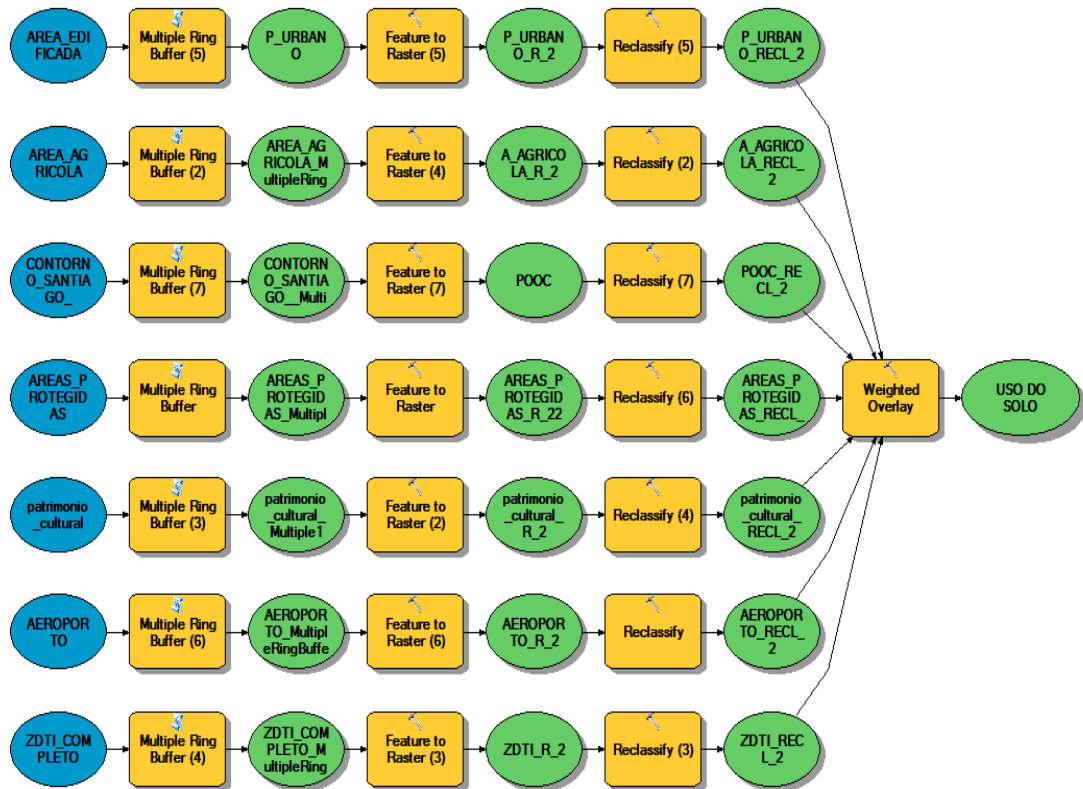


Figura 5 - Operações utilizada para a modelação do uso do solo

c) Modelação da morfologia

A altimetria da ilha de Santiago à escala de 1:25000 foi a parametrização utilizada neste modelo. Com a ferramenta *Create TIN (Triangulated Irregular Network)* da extensão 3D do *Analyst Tools*, criou-se o Modelo Digital de Terreno (MDT) em que cada célula contém a altitude média da área que ela representa. Depois, efectuou-se a conversão *TIN to Raster* para calcular o declive (*Slope*) e orientação das vertentes (*Aspect*).

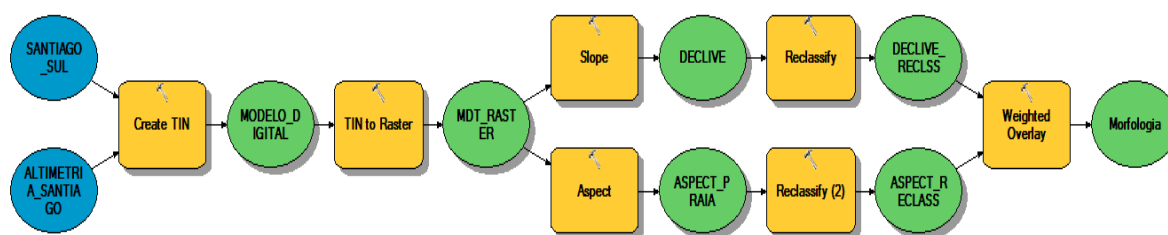


Figura 6 - Operações utilizada para a modelação da morfologia

A sobreposição do declive e da orientação das vertentes, com ferramenta *Weighted Overlay* resultou o tema morfologia, como ilustra o fluxograma da análise (figura 6).

d) Modelação da hidrogeologia

Neste critério, seguiram-se, os procedimentos utilizados nos modelos anteriores. Os parametros utilizados foram: Unidade hidrogeológica, pontos de água e ribeiras e eixos principais³ de água . No entanto, o subcritério unidade hidrogeológica resultou da combinação dos factores do 4º nível, figura 3. Para a modelação desse subcritério, inicialmente, efectuou-se o agrupamento, com a ferramenta *Merge*, das formações geológicas de acordo com as suas características hidrogeológicas. Fez-se a conversão (*Feature to Raster*) e a reclassificação (*Reclassify*) de todas as unidades e, para finalizar através da algebra de mapas, fez-se a agregação destas unidades (figura 7).

³ Entende-se por ribeiras e eixos principais de água “as zonas de leitos das ribeiras e eixos de cursos de água por onde ocorre a drenagem natural das águas pluviais”Decreto-Legislativo 55/2010, de 19 de Outubro de 2010

O modelo final foi produzido a partir dos resultados finais da modelação da acessibilidade, da morfologia, do uso do solo e da hidrogeologia, como ilustra a figura 8.

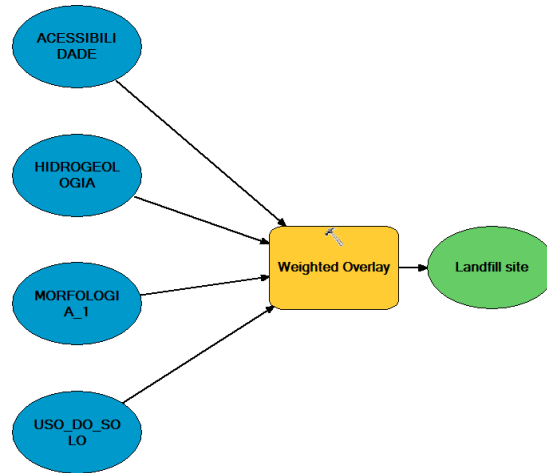


Figura 8 - Modelo final

Procurou-se adaptar a nossa investigação aos métodos utilizados por vários autores, em estudos semelhantes, nomeadamente, Siddiqui (1996), Kao e Lin (1996), Kontos *et al.* (2005), Saaty (2008), Chang et al. (2008), Tavares (2010), entre outros.

A escala de classificação utilizada no estudo vai de 0 (correspondente à aptidão nula) a 5 (correspondente à aptidão elevada). O tamanho das matrizes corresponde ao tamanho da *shape* da área de estudo e o tamanho do pixel é 35 x 35 metros.

Relativamente a ilustração dos mapas, com excepção do mapa de enquadramento, todos os outros ilustram exclusivamente a área de estudo.

Capítulo III - Gestão dos resíduos sólidos em Cabo Verde

1. Enquadramento legal

O capítulo 21 da Agenda 21, aprovado na sessão plenária de 14 de Junho de 1992 da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, consagra que todos os países independentemente do nível de desenvolvimento devem conferir maior prioridade à investigação e desenvolvimento, transferência tecnológica, educação do público e investimento dos sectores públicos e privado numa adequada gestão dos problemas causados pelos resíduos.

Da mesma forma, a Directiva 2008/98/CE, da União Europeia, de 19 de Novembro de 2008 (Directiva - Quadro dos Resíduos), defende que a gestão de resíduos diz respeito à recolha, transporte, valorização e eliminação de resíduos, incluindo a supervisão destas operações e a manutenção dos locais de eliminação após o encerramento.

Atendendo a estes preceituados, no início da década de 90, a legislação cabo-verdiana começa a dar os primeiros passos em relação à gestão dos resíduos sólidos em Cabo Verde com o Decreto – Lei de 86/IV/93, de 26 de Junho, no qual se consagra que *“Todos os cidadãos têm direito a um ambiente de vida sadio, ecologicamente equilibrado, devendo defendê-lo e conservá-lo, incumbindo ao Estado e aos Municípios, com a colaboração das associações de defesa do ambiente adoptar políticas de defesa e de preservação do ambiente e velar pela utilização racional de todos os recursos naturais”* e que *“A política do ambiente tem por fim optimizar e garantir a continuidade de utilização dos recursos naturais, qualitativa e quantitativamente, como pressuposto básico de um desenvolvimento auto-sustentado”* Lei de Base da Política do Ambiente (1993). Na mesma década, a publicação do Decreto – Lei 14/97, de 1 Junho, veio reforçar a protecção do ambiente uma vez que desenvolve as normas regulamentares de situações previstas na Lei de base da Política do Ambiente, estabelecendo os princípios fundamentais destinados a gerir e a proteger o ambiente contra todas as formas de degradação, com o fim de valorizar os recursos naturais, lutar contra a poluição de diversa natureza e origem e melhorar as condições de vida das populações, no respeito pelo equilíbrio do meio. No capítulo IV desta lei está definida a política nacional na área dos resíduos sólidos urbanos, industriais e outros. Relativo à eliminação dos resíduos, esta lei estabelece o seguinte:

- Cada detentor de resíduos deve promover a sua recolha, tratamento, armazenagem, transporte e eliminação ou utilização de tal forma, que não prejudique o ambiente;
- As empresas são especialmente responsáveis para dar destino adequado aos seus resíduos industriais;
- O destino a dar pelas empresas aos resíduos industriais deve constar do processo de licenciamento;
- As unidades de saúde são responsáveis por dar destino adequado aos resíduos hospitalares;
- Compete ao governo regulamentar as leis gerais nesta área;
- Proceder aos investimentos relativos aos aterros sanitários e sistema de tratamento de RSU;
- Estabelecer, tendo em conta a política nacional definida para o domínio, os planos e directivas aprovados, as normas e regulamentos a que devam obedecer a construção, instalação e funcionamento das infra-estruturas destinadas à remoção e tratamento de RSU.

No início deste século, as questões ligadas ao ambiente e a gestão do RSU começam a ganhar mais destaque, com a aprovação da Política Nacional de Saneamento e a publicação do Decreto-Lei 31/2003, de 1 de Setembro, o qual estabelece os requisitos essenciais a considerar na eliminação de resíduos sólidos urbanos, tendo em vista a protecção do ambiente e da saúde pública. Os aspectos mais importantes desta lei são:

- Os custos de eliminação dos resíduos são suportados pelo respectivo produtor;
- Os responsáveis pelo destino final a dar aos resíduos são os municípios (resíduos urbanos), as empresas (resíduos industriais) e as unidades de saúde (resíduos hospitalares);
- As operações de armazenagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos estão sujeitas a autorização prévia;

- Os resíduos hospitalares são objectos de tratamento apropriado, diferenciado em função das suas características próprias (a ser elaborado por portaria conjunta dos membros do Governo responsáveis pelas áreas do Ambiente e da Saúde);
- Os municípios, as empresas e as unidades de saúde, devem organizar e manter um inventário/registo dos resíduos que indique: A natureza e quantidade; Origem e destino e Operação efectuada.

Em Dezembro do mesmo ano é criado o Plano de Gestão e Resíduos cujo, objectivo global consistia em “reduzir os riscos que uma má gestão de resíduos constitui para a saúde publica e o ambiente até um nível negligenciável ou aceitável”.

O Governo de Cabo Verde criou o Segundo Plano de Acção Nacional Para o Ambiente (PANAI) no horizonte 2004 -2014. Este plano identifica o saneamento básico, incluindo a recolha, o tratamento e o destino final apropriado de resíduos sólidos (orgânicos e não-orgânicos) como uma das áreas prioritárias. Os objectivos específicos para o saneamento básicos na área de resíduos são: Aumentar a capacidade de gestão dos municípios para assumirem competências nesta área e gerir os resíduos por forma a controlar e reduzir a poluição.

O mesmo documento traça um conjunto de medidas prioritárias a serem implementadas na área de gestão de resíduos, nomeadamente:

- Elaboração de um plano nacional de Gestão dos Resíduos sólidos Urbano, até 2013;
- Definição de uma estratégia e políticas de educação, informação e sensibilização no domínio da gestão dos RSU, junto das populações urbanas, através de meios audiovisuais e acções nos locais de trabalho;
- Promoção de programas e projectos de recolha, tratamento, reciclagem e deposição final de resíduos de plásticos, vidro, papel, sucata metálica e outros, através de procedimentos de recolha e infra-estruturas de compactação e de aterros sanitários e/ou incineração, visando um nível de satisfação de 50% em 2007 e 100% em 2010;
- Promoção da adopção de sistemas de tratamento e destino final dos RSU mais adequados à realidade do país.

No quadro político, destaca-se o programa do Governo da VII Legislatura, 2006-2011. Este indica que no domínio de saneamento, a acção do Governo será para a infra-estruturação básica e a implementação de procedimentos e de práticas que assegurem melhorias crescentes das condições de vida e a promoção de um ambiente sadio.

A nível municipal, os PDM da área de estudo preveem um modelo de gestão dos RSU fundamentado nos princípios formulados na estratégia do Plano de Gestão de RSU designadamente:

- Princípio da Universalização dos serviços: um aumento gradativo da taxa de cobertura de recolha de resíduos terá prioridade à introdução de sistemas mais sofisticados e custosos, como, por exemplo, introdução de recolha selectiva porta a porta;
- Princípio dos três R: tratamento de resíduos orienta-se no princípio de reduzir, reutilizar, reciclar, nesta ordem;
- Princípio poluidor – pagador: cobrança dos grandes geradores, visando aplicar responsabilidades de forma directa;
- Regionalização dos serviços: ganhar economia de escala;
- Princípio de solidariedade: concelhos com menos custos operacionais apoiam os outros (situação Praia vs. Ribeira Grande de Santiago);
- Princípio de preocupação: soluções técnicas ambientalmente aceites, conforme *standards* da União Europeia;
- Princípio de sustentabilidade financeira: introduzir participação da população nos custos de operação do sistema;
- Princípio de participação: estimular e sensibilizar a população para participar no uso e manutenção da limpeza urbana, onde o gerador de resíduo se torna cliente e beneficiário do sistema;
- Princípio da simplicidade das soluções técnicas e organizacionais e princípio de cooperação.

Em relação a localização do aterro sanitário, para além da perspectiva e interesse que há em garantir adequados padrões de qualidade no tratamento e destino final dos RSU, a estruturação de um aterro sanitário obriga a que se tenha presente, não só o enquadramento legislativo dos condicionalismos legais existentes ao nível da política nacional e internacional neste domínio, como também os conceitos que lhes estão subjacentes e que enquadram a estratégica nacional dos RSU (Levy & Cabeças, 2006).

Na ausência de uma legislação específica para a localização de aterro sanitário em Cabo Verde⁴, neste estudo, procurou-se adaptar a legislação vigente na União Europeia, nomeadamente a Directiva 99/31/CE de 26 de Abril, do Conselho Europeu, relativa a deposição de resíduos em aterros, o Decreto-Lei 183/2009 de 10 de Agosto – Diário da Republica, Portugal e literaturas internacionais, às características da área de estudo.

Segundo a Directiva 99/31/CE de 26 de Abril, as exigências técnicas a cumprir num aterro sanitário enquadram fundamentalmente:

- A Protecção das águas subterrâneas e superficiais;
- O controlo dos efluentes residuais – águas lixiviantes;
- O controlo dos efluentes residuais gasosos – biogás;
- Controlo de deposição dos resíduos e exploração do aterro;
- Monitorização global do aterro e zonas envolventes.

O Decreto-Lei 183/2009 de 10 de Agosto, Diário da Republica, Portugal impõe os requisitos de localização de um aterro, nomeadamente:

A distância do perímetro do local relativamente às áreas residenciais e recreativas, cursos de águas, massas de águas e outras zonas agrícolas e urbanas;

- A existência na zona de águas subterrâneas ou costeiras, ou áreas protegidas;
- As condições geológicas e hidrogeológicas locais e da zona envolvente;
- Os riscos de cheias, de aluimento, de desabamento de terra ou avalanches na zona;
- A protecção do património natural e cultural da zona.

⁴ Procurou-se respeitar os condicionantes, servidões e restrições de ocupação de espaço estipulados nos PDM's da área de estudo.

2. Caraterização da situação dos resíduos sólidos em Cabo Verde

2.1 Breve enquadramento de Cabo Verde

Cabo Verde é um país insular constituído por dez ilhas, das quais nove são habitadas, e treze ilhéus, distribuído em dois grupos, o de Barlavento e o de Sotavento, de acordo com a sua posição em relação aos ventos predominantes de Nordeste (ventos alísio)..

Ao grupo de Barlavento pertencem as ilhas de Santo Antão, a mais ocidental, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal, e Boa Vista, a mais oriental das ilhas. O grupo de Sotavento é composto pelas ilhas de Maio, Santiago, Fogo e Brava (figura 9).

O arquipélago localiza-se entre os paralelos 14° 48' e 17° 13' de latitude Norte e os meridianos 22° 41' e 25° 22' de longitude Oeste, na da costa ocidental africana á 500 Km do Cabo do Senegal (figura 9). Faz parte da região Macaronésia. A superfície emersa total é de 4033 Km², a Zona Económica Exclusiva (ZEE) estende-se por cerca de 734000 Km², a população residente é de 491575 habitantes.

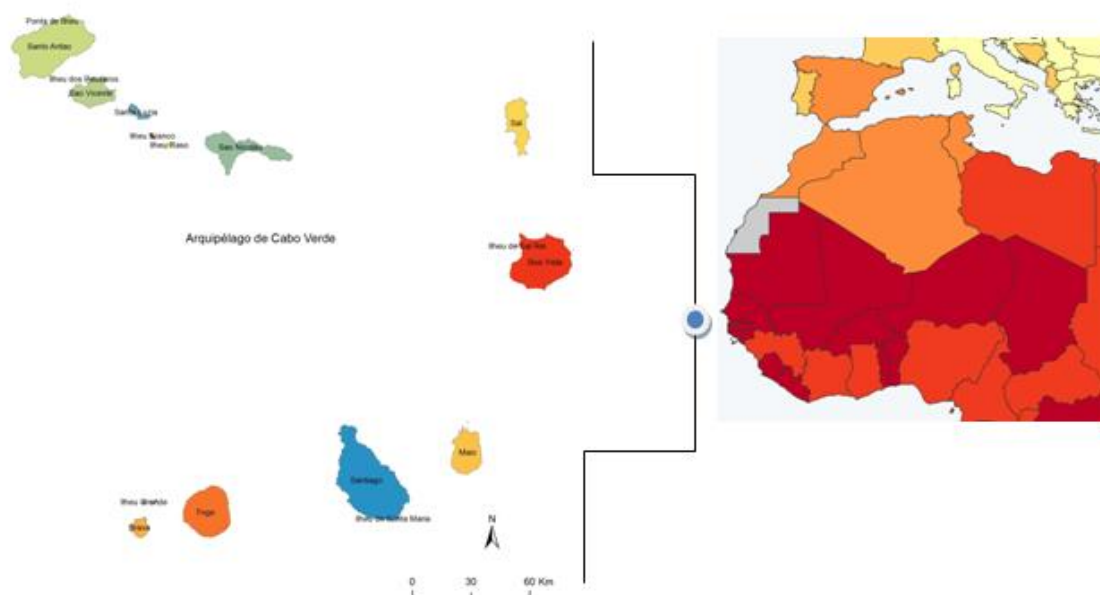


Figura 9 - Localização das ilhas de Cabo Verde

Todas as ilhas são de origem vulcânica, com um relevo geralmente muito acidentado, o ponto mais alto do país é o vulcão, activo, da ilha do Fogo com 2829 metros de altitude, sendo as ilhas mais orientais relativamente planas. O arquipélago está inserido numa zona de climas áridos e semi – áridos do Sahara, na faixa de transição entre o deserto e os climas húmidos tropicais, designado de Sahel. O clima é quente tropical seco, com precipitações escassas e irregulares.

Apesar desta dimensão territorial e demográfica, este pequeno arquipélago enfrenta os mesmos problemas ambientais que os demais países em desenvolvimento, particularmente no que tange a gestão dos resíduos sólidos.

2.2 Resíduos sólidos em Cabo Verde

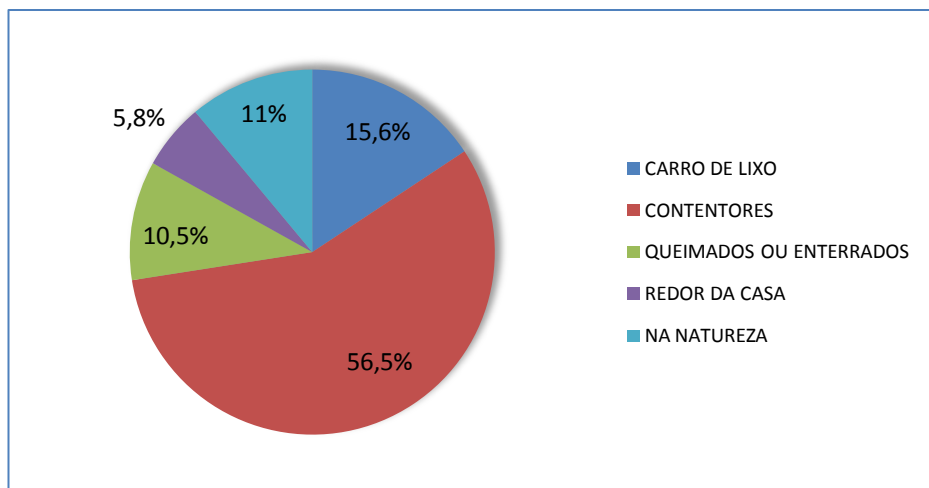
O Ministério do Ambiente, Habitação e Ordenamento do Território (MAHOT) é o departamento governamental responsável que tem competência para a gestão nacional dos resíduos.

Contudo a gestão dos resíduos em Cabo Verde é efectuada de forma descentralizada, em que as câmaras municipais são responsáveis pela recolha, transporte e destino final. Os outros tipos de resíduos são os seus produtores, os responsáveis pela recolha, transporte e destino final (MAAP, 2003).

A falta de infraestrutura de saneamento do meio, a deficiente formação das populações e a falta de definição de normas ambientais controladoras da actuação das empresas comerciais e industriais, contribuem para a acumulação de resíduos sólidos e líquidos poluentes no solo, sobretudo urbano (MAAP, 2004).

De acordo com o Plano de Gestão de Resíduos, em Dezembro de 2003, a quantidade de RSU produzido a nível nacional era de 101000 toneladas/ano, equivalente a uma produção de resíduos de 600 gramas/habitantes/dia.

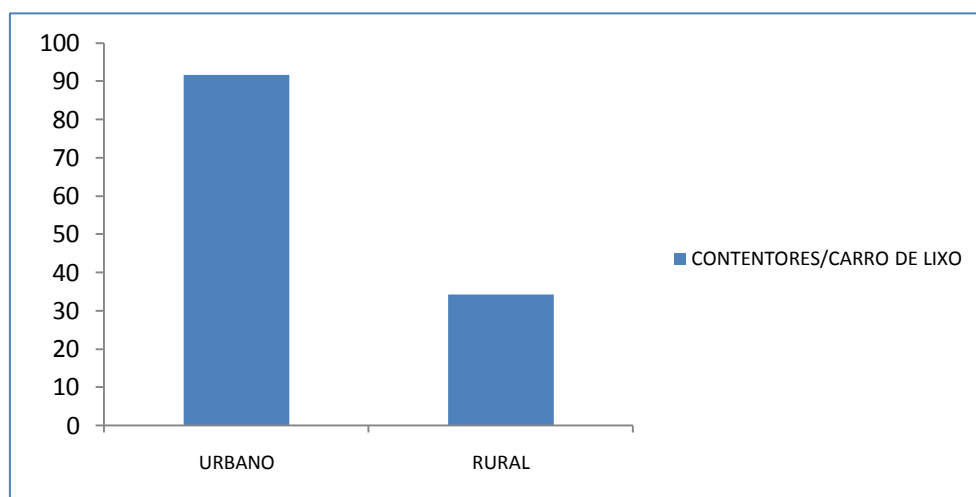
Segundo os resultados definitivos do censo 2010, em Cabo Verde apenas 72.1 % das famílias utilizam o sistema de recolha de resíduos sólidos domésticos, das quais 15.6 % depositam o lixo doméstico nos carros de lixo e 56.5 % nos contentores. Os restantes queimam-no ou enterram-no (10.5%), atiram-no em redor da casa (5.8 %) ou na natureza (11 %), com ilustra a figura 10.



Fonte: Elaboração a partir dos dados do INE – CV

Figura 10 - Modo de evacuação dos Resíduos Sólidos em Cabo Verde

Em relação ao meio rural e urbano, a discrepância é enorme (figura 11). No ano 2010, no meio urbano, 91.6 % da população utilizavam o sistema de recolha de resíduos sólidos domésticos, enquanto que no meio rural era apenas de 34.3 %. Neste último, no mesmo ano, 26.8% dos resíduos sólidos produzidos eram depositados directamente na natureza, apesar dos esforços envidados na área da gestão dos resíduos sólidos a nível nacional.



Fonte: Elaboração a partir dos dados do INE – CV

Figura 11- Evacuação dos resíduos sólidos em percentagem no meio rural e urbano no ano 2010

Nos principais centros urbanos do país, cidade da Praia e cidade do Mindelo, existe um sistema centralizado municipal de recolha de resíduos sólidos por camiões, a partir de contentores espalhados pela cidade, sem, contudo, haver verdadeiros aterros sanitários. Enquanto que em Mindelo o lixo recolhido é encaminhado para a lixeira municipal, onde existe um sistema de membranas e drenagens, no qual o lixo é diariamente compactado e coberto com terra por uma máquina tipo *bulldozer*, na Cidade da Praia, o lixo recolhido continua a ser depositado numa lixeira improvisada, com consequências nefastas do ponto de vista higiénico e paisagístico (MAAP, 2004).

Não há uma prática de recolha selectiva generalizada para determinadas substâncias tóxicas ou perigosas, nomeadamente óleos usados, metais pesados, sucata, pneus, entre outros.

Entretanto, no caso particular da ilha de Santiago, foram efectuados estudos preliminares, inerentes ao projecto sobre os RSU da ilha, que visam a construção de um aterro sanitário central para a ilha. A Convenção para o seu financiamento foi assinada com a Comissão Europeia em Setembro de 2007 (Barros, *et. al* 2007).

Na região sul da ilha de Santiago apenas 43 % população residente beneficia do sistema de recolha dos resíduos sólidos e os restantes 57 % queimam/enterram ou deitam o lixo ao redor da casa e na natureza, tabela 3 (QUIBB, 2007).

Tabela 3 - Modos de Evacuação dos resíduos sólidos nos municípios da Região Sul da ilha de Santiago

Principal modo de evacuação de resíduos sólidos em percentagem (%)	Praia	São Domingos	Ribeira Grande de Santiago
Contentores	69.4	31.6	17.4
Carro lixo	13.3	6.2	0.0
Enterrados/ queimados	4.6	10.2	0.0
Redor da casa	2.4	5.3	22.2
Natureza	10.3	46.6	60.4
Total	100	100	100

Fonte: QUIBB 2007

Segundo os dados dos PDM's dos municípios em estudo, semanalmente são produzidos cerca de 3859 m³ de resíduos sólidos (tabela 4) mas estima-se que a produção seja o dobro, uma vez que os serviços de recolha não abrangem os produzidos pelos comércios e pelas indústrias, para além de existirem várias localidades e lugares nos municípios de São Domingos e da Ribeira Grande de Santiago que não estão cobertos pelos serviços de recolha dos resíduos (tabela 3) o que vem contribuindo para a degradação do meio ambiente.

Tabela 4 - Produção semanal de Resíduos sólidos

Concelho	Produção de RSU semanal em m ³
Praia	3717
São Domingos	16
Ribeira Grande de Santiago	126
Total	3859

Fonte: Elaborado a partir dos dados do PDM dos três concelhos

Os resíduos sólidos são um problema grave apesar dos apelos das acções de sensibilização e campanhas de limpeza em várias localidades da área de estudo. A inexistência de um aterro sanitário nos concelhos leva à proliferação das lixeiras selvagens, com maior incidência nos leitos das ribeiras e nas encostas, o que agrava, ainda mais, a situação, tendo em consideração o difícil acesso a estes locais.

Para solucionar o problema de deposição do RSU, o livro branco sobre estado do ambiente, do Ministério de Ambiente, Agricultura e Pesca (2004) e o Programa de Saneamento 1998-2010 da CMP, previam a construção de um aterro sanitário na cidade da Praia. No entanto este objectivo até o início da nossa investigação ainda não tinha sido materializado.

Capítulo IV. Caso de estudo da Região Sul da Ilha de Santiago.

1. Situação geográfica

A Região Sul da ilha de Santiago localiza-se na ilha de Santiago esta pertencente ao grupo de Sotavento e ao grupo das ilhas designadas montanhosas do Arquipélago de Cabo Verde. Foi, juntamente com a ilha do Fogo, das primeiras a serem descobertas (no ano de 1460) e povoadas, pelos portugueses em 1462.

A ilha de Santiago localiza-se a Sul do país, entre os paralelos 14° 50' e 15° Norte e os meridianos 23 ° 20' e 23 50' W. A ilha tem uma área correspondente a 991 Km², sendo a maior de todas em termos de dimensão territorial, cerca de 25 % da superfície total do país. Segundo o Censo2010, nesta ilha, residiam 305671 habitantes representando 62.2 % do total da população do país, distribuída administrativamente, em nove concelhos (figura 12).



Figura 12 - Divisão administrativa dos municípios da ilha de Santiago

A Região Sul da ilha de Santiago tem uma superfície de 395 km² correspondendo a 40 % da superfície emersa da ilha, onde residem 153852 habitantes. Em termos administrativo a região divide-se em três concelhos (figura 14): São Domingos, Ribeira Grande de Santiago e Praia, localizando-se neste último a capital e o principal centro económico, comercial, industrial e demográfico do país. A Região limita-se, a Norte, com os concelhos de Santa Cruz, São Lourenço dos Órgãos e São Salvador do Mundo e, a Noroeste, com o concelho de Santa Catarina (figura 13).

Tabela 5 – Concelhos que integram a área de estudo

Concelho	Área em km ²	População residente	População urbana %	População rural %
Praia	95.3	131719	97.1	2.9
São Domingos	135.5	13808	18.7	81.3
Ribeira Grande de Santiago	164.2	8325	14.6	85.4
Área de estudo	395	153852	85.6	14.4

Fonte: Censos 2010

Dos seus 153 852 residentes no ano 2010, cerca de 86% habitavam nos centros urbanos e os restantes 14 % residiam em comunidades rurais, o que evidenciava uma elevada urbanização da região no conjunto e do concelho da Praia em particular (tabela 5).



Figura 13 - Localização da Região Sul da ilha de Santiago

Os territórios dos municípios de São Domingos e Ribeira Grande de Santiago integravam o município da Praia (figura 14). O concelho de São Domingos foi criado pelo Decreto - Lei 96/IV/93 de 13 de Dezembro, abrangendo as freguesias de São Nicolau Tolentino e de Nossa Senhora da Luz.. A superfície total cobre uma área de 134, 5 Km². O concelho é essencialmente rural (tabela 5) sendo a agricultura e a pecuária a principal ocupação da população. A actividade piscatória está limitada na orla costeira, sobretudo em Praia-Baixo (CMSD, 2007).

O concelho da Ribeira Grande de Santiago foi criado pelo Decreto - Lei 63/VI/2005 de 9 de Maio, abrangendo as freguesias de Santíssimo Nome de Jesus e São João Baptista. A mesma Lei define a sede de Município, com o estatuto de Cidade. O concelho é berço da nacionalidade Cabo-verdiana e Património Mundial da Humanidade. A cidade de Ribeira Grande de Santiago é uma das mais antigas cidades fundadas pelos Europeus na África Sub-sahariana. Pelo seu porto passaram caravelas transportando escravos da África para Europa e Américas.

O concelho da Praia é o principal centro urbano do país, é constituída por uma única freguesia. “A origem da cidade da Praia está associada a um desembarque de escravos no porto da Praia em 1515, existindo informações cronológicas da formação de um povoado no topo de uma pequena achada, com 40 m de altitude (plateau), cujas vertentes escarpadas constituíam defesas naturais e a sua posição geoestratégica facilitava o comércio transatlântico, por possuir a melhor baía da ilha (larga que oferecia excelentes condições à navegação da época). Estas características naturais permitiram, gradualmente, que o então povoado do porto da Praia se desenvolvesse, em virtude também do declínio e do abandono da “vila” de Alcatrazes e da migração da população da primeira cidade fundada pelos europeus nos trópicos, a cidade de Ribeira Grande” (Amaral, 1964).

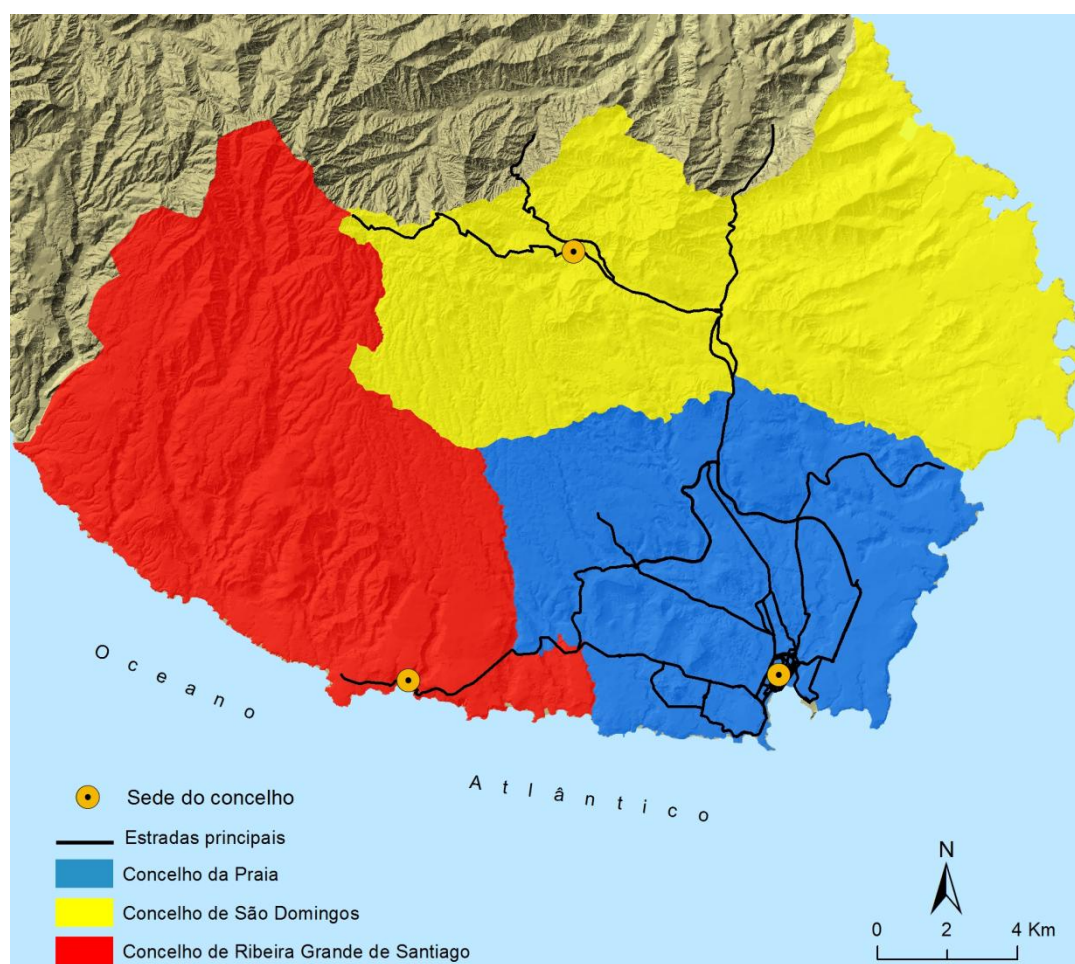
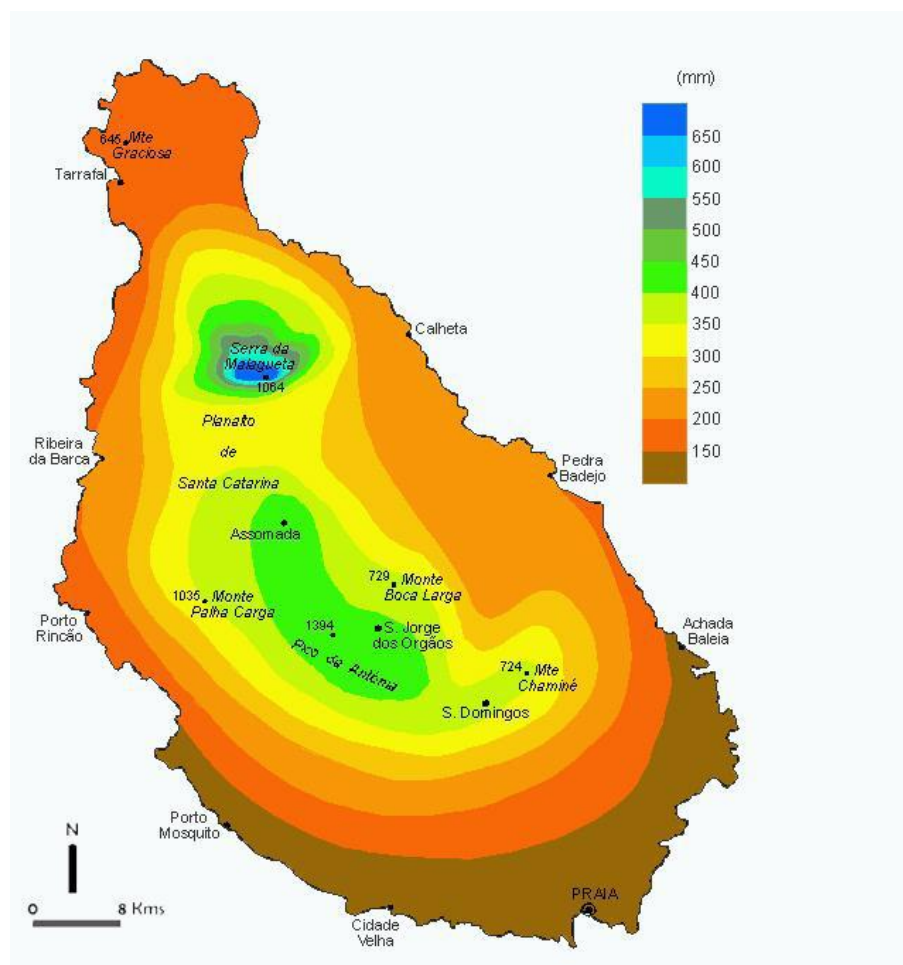


Figura 14 - Divisão administrativa da área de estudo

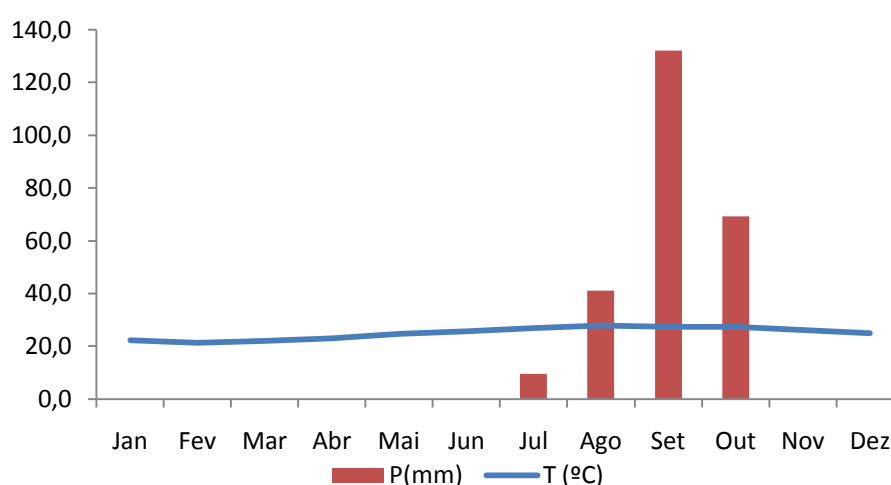
Toda a Ilha de Santiago “é de natureza vulcânica e caracterizada pela predominância de zonas de relevo muito acidentado. Vista de longe, sobressaem aparece formada por duas massas montanhosas: a Serra do Pico de Antónia (o cume mais alto da ilha a atingir os 1394 metros) e a Serra da Malagueta mais a norte. O clima é caracterizado pelo contraste de duas estações perfeitamente distintas: a das “brisas” ou seca e a das “águas” ou húmida. Mas beneficia de maior frequência das chuvas, comparada com as outras ilhas, devido ao efeito orográfico” (Amaral, 1964:17).



Fonte: http://www.iict.pt/actividades/213/iict213/iict213_04.htm, dia 11 de Abril de 2012

Figura 15 - Precipitação Mediana da ilha de Santiago

O clima encontra-se directamente relacionado com diversos factores e condicionalismos como a topografia acidentado dos terrenos, as altitudes elevadas, a exposição das vertentes e as correntes atmosféricas nomeadamente a monção do Atlântico Sul, Alísios de Nordeste e Harmatão (Amaral, 1964). Sendo parte do território nacional, a Região Sul de Santiago não escapa à influência dos factores climáticos que influenciam o clima do Arquipélago e da ilha de Santiago em particular. A temperatura média anual é de 25°C e as precipitações são escassas, distribuem-se de forma bastante irregular durante o curto periodo chuvoso. A diferença dos totais registos em função do relevo origina fortes contraste paisagístico entre as zonas altas e as zonas litorais (figura15 e 16).



Fonte: elaborado a partir dos dados da estação meteorológica do aeroporto da Praia

Figura 16 - Gráfico Termopluiométrico da região Sul da Ilha de Santiago

A geomorfologia da Região é responsável pela diferenciação entre as zonas microclimáticas existentes. Consta-se que à medida que aumenta a altitude, em todos os concelhos, regista-se um aumento da pluviosidade e uma diminuição da aridez e o clima do tipo árido da zona litoral, passa ao semi-árido, subhúmido e, por fim, a húmido nas regiões de maior altitude do interior (Amaral, 1964).

De acordo com o grau de aridez ou secura, há o surgimento de microclimas em determinadas zonas da Região Sul da ilha de Santiago, nomeadamente: São Martinho Grande, Trindade e São Francisco no concelho da Praia; Tronco, Pico Leão e Pico de Antónia no concelho da Ribeira Grande de Santiago e Rui Vaz no concelho de São Domingos (Amaral, 1964).

2. Caracterização geológica

A geologia da área de estudo integra a da geologia da ilha de Santiago, onde está inserida. De acordo com o quadro Vulcano–estratigráfico proposto por Serralheiro et al., (1976) na Região Sul da ilha de Santiago, afloram as seguintes unidades geológicas do mais recentes para as mais antigas (figura 17):

VI. *Formação Sedimentar Recente.*

Apresenta duas fácies a terrestre constituída por aluviões antigas e modernas, formando, ou não, terraços, depósito de vertentes e de enxurrada e a Marinha constituída por areias dunares e praia marinhas.

V. *Formação de Monte das Vacas*

Composta por cones de piroclastos, escórias vulcânicas e pequenos derrames associados, evidenciando a fase explosiva. São matérias que sofreram alterações, por isso, apresentam a cor avermelhada.

IV. *Formação do Pico de Antónia (PA)*

Constituída por piroclastos e mantos intercalados, rochas traquifonóliticas e série espessa de mantos e piroclastos basálticos intercalados na fácies terrestre e por calcário e calcarenitos, mantos inferiores na fácies marinha. Essa formação estende-se praticamente por todas as localidades da área de estudo, desde a orla litoral até as montanhas, dominando sobretudo os interflúvios e achadas e é a unidade mais espessa e mais extensa. Nesta formação encontram-se as maiores altitudes de relevo e também pelas principais plataformas estruturais da região.

III. *Formação dos Órgãos (CB)*

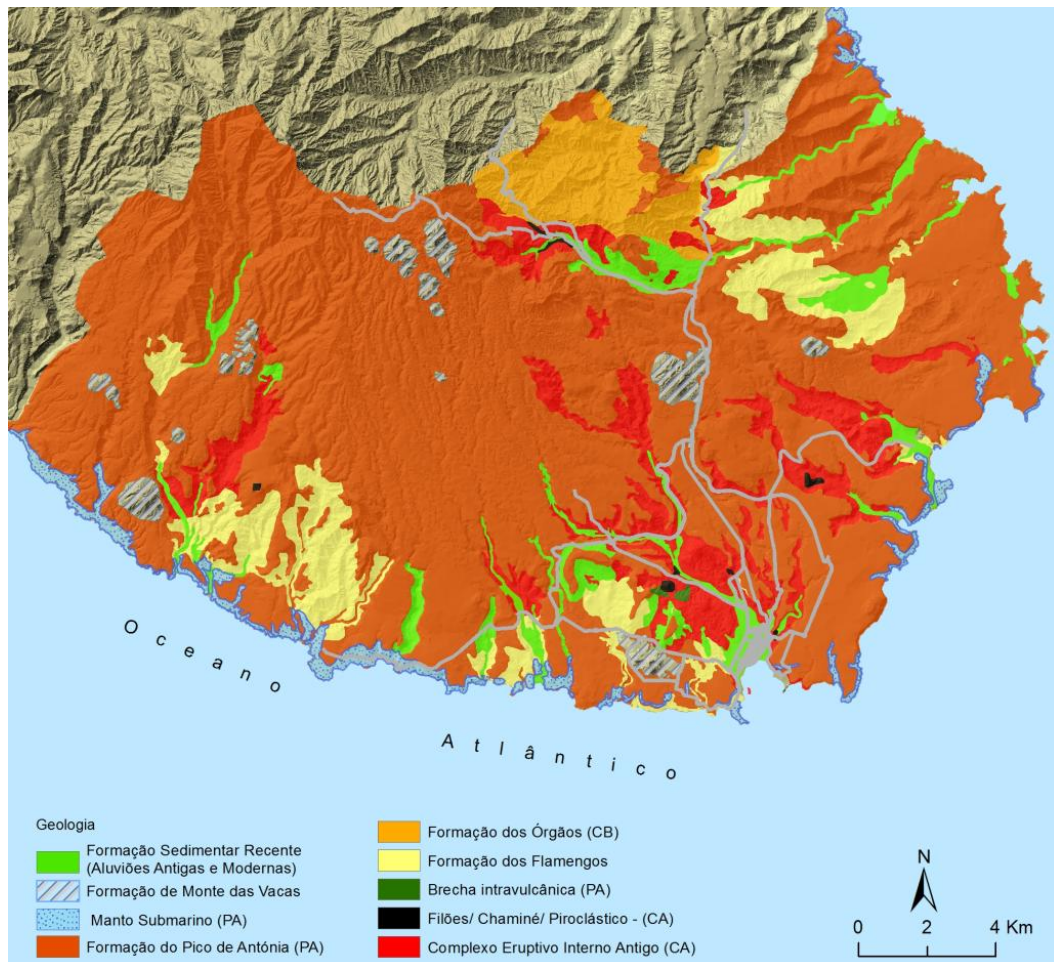
Apresenta duas fácies, a terrestre, composta por depósitos, conglomerado-brechóides, e a marinha conglomerado – brechóides marinho.

II. *Formação dos Flamengos*

Constituída só por fácies marinha com mantos de basaltos, basanitos, limburgitos e encaratitos.

I. *Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA)*

Composta apenas pela fácies terrestre, com gabros, sienitos e rochas afins, brechas ultravulcânicas, carbonatitos (Filões e chaminés) fonólitos e rochas afins, filões de ancaratitos e limburgitos. Estão numa elevada fase de alteração, com grande percentagem de argilas. Esta formação aflora sobretudo no fundo dos vales e vertentes próximas.



Fonte: Elaborado a partir da carta geológica da ilha de Santiago

Figura 17 - Carta Geológica da região Sul da ilha de Santiago

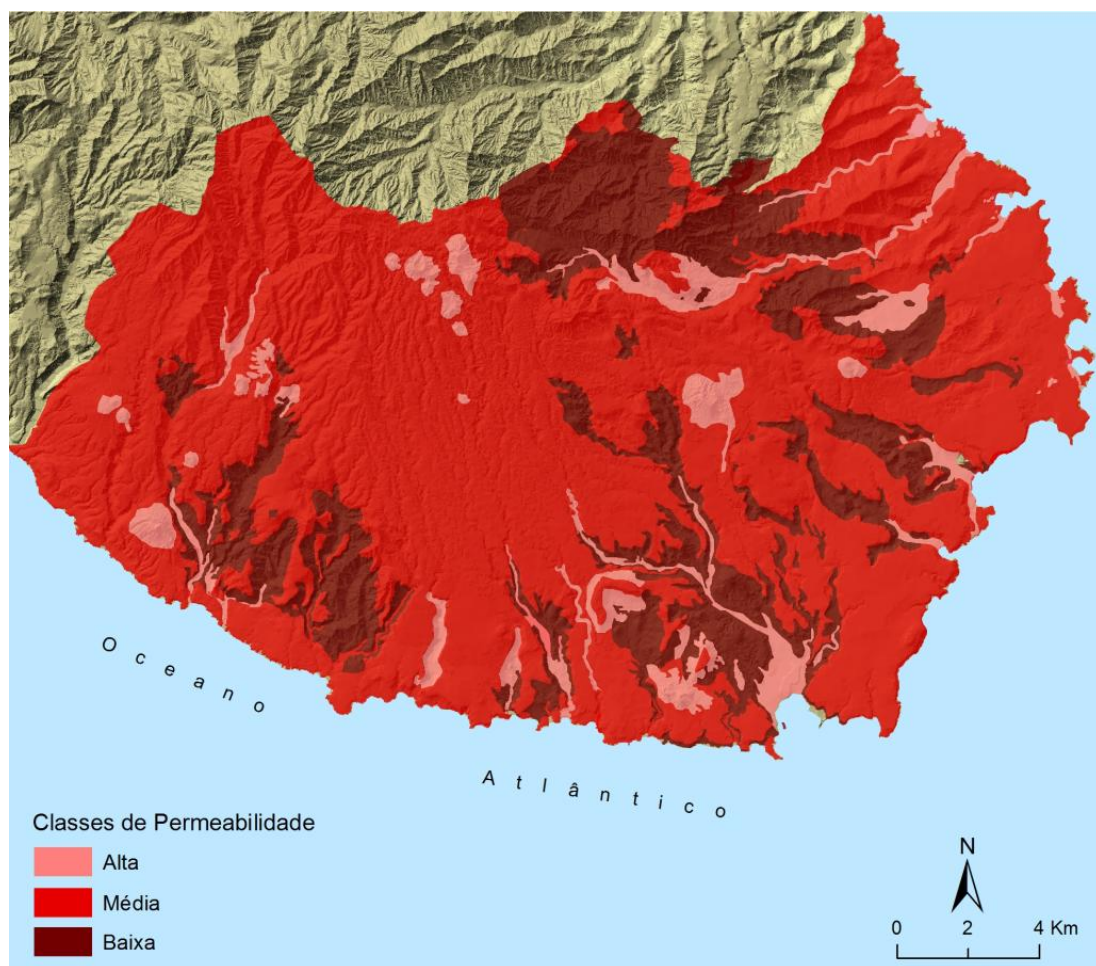
Segundo Gomes (2007: 194-197), “As formações geológicas caracterizadas anteriormente formam três unidades hidrogeológicas principais, com características e comportamentos hidráulicos que as diferenciam:

a) *Unidade de Base* é constituída pelo Complexo Eruptivo Interno Antigo (CA), Formação dos Flamengos e Formação dos Órgãos. Caracteriza-se por um grau de compactação elevado que lhe confere uma baixa permeabilidade, relativamente às

formações geológicas mais recente. Esta unidade tem valores médios de transmissividade bastante baixos ($0,2$ a $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$);

b) A *unidade intermédia* é constituída pelas formações do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA). Apresenta uma permeabilidade muito superior à serie de base.

c) A *unidade Recente* é constituída pela Formação do Monte das Vacas (MV) e aluviões. Esta unidade é muito permeável, facilitando a infiltração das águas em direcção ao aquífero principal. Os aluviões comportam-se de acordo com as respectivas granulometrias, espessuras e percentagens de argilas. Assim, quando são espessas, grosseiras e isentas de argila, possuem porosidade e permeabilidade elevadas, pelo que permitem furos de grande produtividade” (figura 18).



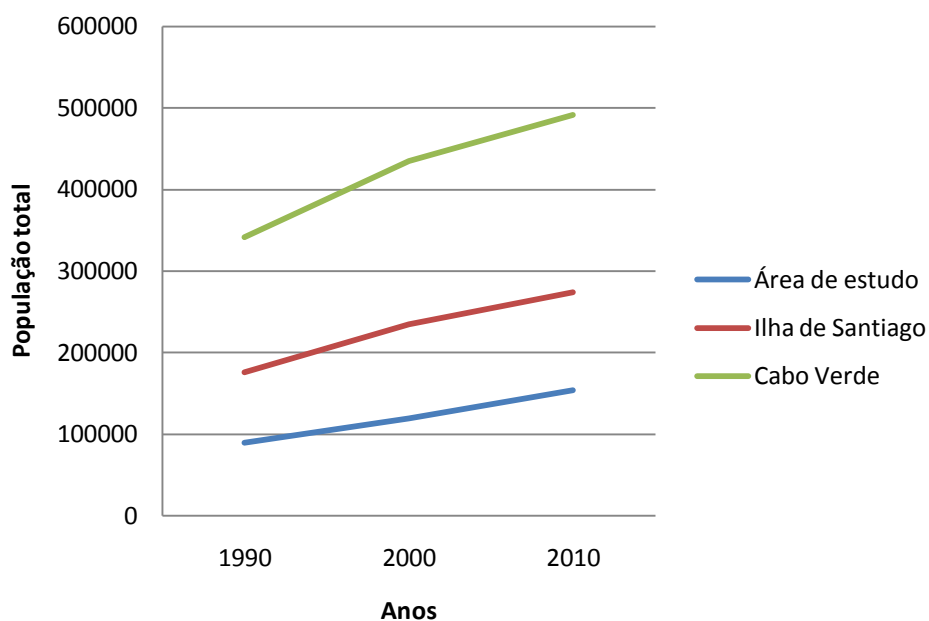
Fonte: Elaborado a partir da Carta Geológica da ilha de Santiago

Figura 18 – Classes de permeabilidade da formação hidrogeológica da Região Sul da Ilha de Santiago

3. Caracterização demográfica e socioeconómica da população residente

3.1 Evolução da população.

O crescimento demográfico depende, antes de tudo, da diferença entre o número de nascimentos e o número de óbitos (saldo natural) e da entrada e da saída de indivíduos numa região (saldo migratório).



Fonte: Elaboração a partir dos dados do INE – CV

Figura 19 - Evolução da população residente na região Sul da ilha de Santiago nos últimos 20 anos

Da análise da figura 19, pode-se constatar, que a evolução demográfica recente na Região Sul da ilha de Santiago tem acompanhado, na generalidade e no período em análise, a tendência da evolução verificada no país e na ilha de Santiago.

Na década de 90, à semelhança do que se verificou nos restantes concelhos do país, a região teve um crescimento acentuado da população, registando uma variação na ordem de 32.6 %, em grande parte devido ao acelerado crescimento da Cidade da Praia (tabela 6). Entretanto, entre os anos 2000 e 2010, começou-se a verificar uma tendência de crescimento mais moderado, tendo registado um aumento na ordem dos 28.7%. Ao nível nacional e da ilha Santiago em particular, no mesmo período registou-se um aumento de 13% e 16.6 % respectivamente.

Uma análise mais detalhada permite conhecer a evolução populacional por concelho, e por conseguinte avaliar a importância demográfica dos concelhos que compõe a região em estudo (tabela 6).

Tabela 6- Evolução da população nos concelhos da Região Sul da ilha de Santiago (1990 -2010)

	1990	2000	2010	Variação em %	
				1990-2000	2000-2010
Praia	71276	98118	131719	37,7	34,2
S. Domingos	11526	13296	13808	15,4	3,9
R. Grande de	6527	7713	8325	18,2	7,9
Ilha Santiago	175691	234940	273919	33,7	16,6
Cabo Verde	341491	434625	491575	27,3	13,1

Fonte: INE

O concelho da Praia é aquele que conheceu maior crescimento demográfico no período em análise (1990-2010), registando uma variação na ordem de 85%, seguida do concelho da Ribeira Grande de Santiago e de São Domingos e com uma variação de 28% e 20 % respectivamente.

O crescimento populacional do concelho da Praia tem sido exponencial, a uma taxa média anual de 3.0 %, muito superior a média do país que é de 1.2%. Esse crescimento acelerado é justificada pelo município ser cosmopolita, principal pólo de concentração das actividades económicas, dos serviços, oferta de emprego e alvo de movimentos migratórios quer à nível interno, quer à nível externo, em especial a partir da Costa Ocidental Africana, o que tem aumentado a pressão demográfica, contribuindo para o surgimento de zonas de construções clandestinas e produção em massa de resíduos sólidos.

3.1 Estrutura da população

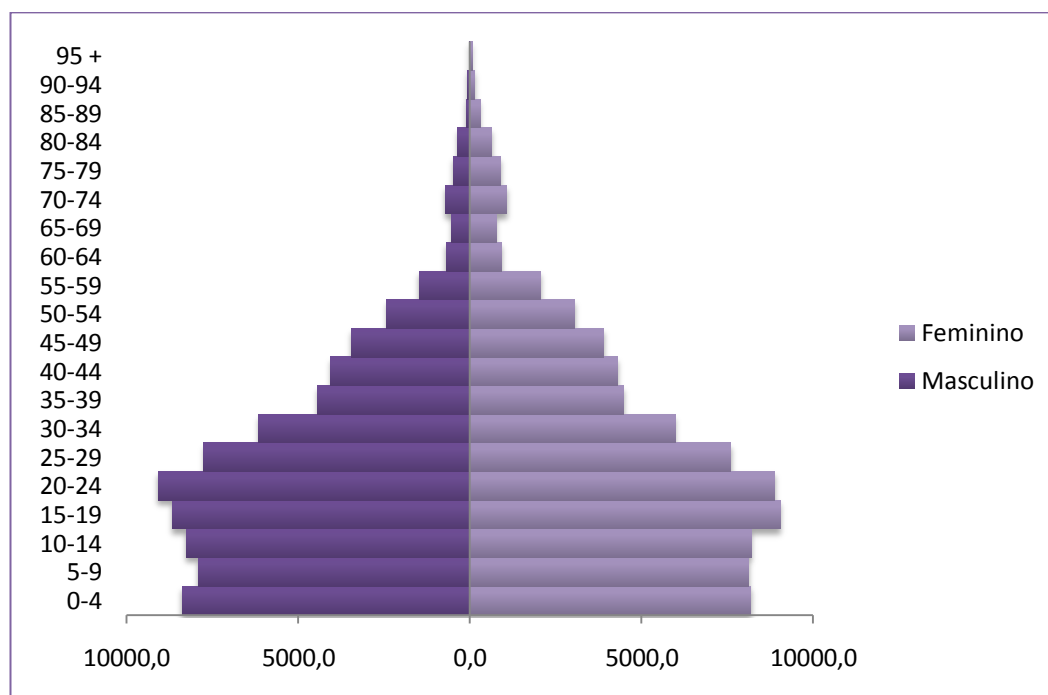
Nesta análise irá ser privilegiada, a estrutura da população por sexo e por idade, as suas relações e funcionalidade utilizando como instrumento, os grupos funcionais e as pirâmides de idade.

A estrutura da população depende de um conjunto de fenómenos demográficos a que a população está sujeita (natalidade, mortalidade e movimentos migratórios) que, por sua vez são condicionados pelos factores naturais, ambientais, humanos e históricos. O conhecimento da estrutura da população permite-nos sistematizar o peso da

população jovem e/ou idosa e as medidas a serem tomadas por parte dos governantes no que concerne à criação de empregos, construção escolas, serviços de saúde, infraestruturas sanitárias, entre outros.

Para a análise etária dividiram-se os grupos etários em três grupos funcionais: Jovens (0 – 14 anos), Adulto (15 – 64 anos) e igual ou superior a 65 anos como sendo idosos⁵. Da análise da figura 20, depreende-se uma pirâmide etária típica dos países em desenvolvimento, alarga-se na base e estreita à medida que se avança para o topo ilustrando, assim, uma maior percentagem da população na idade jovem do que nas idades adultas e idosas.

Da análise da figura 20, constata-se que cerca de 36.7 % da população no ano 2010 tinha menos de 15 anos e cerca de 62 % tinha menos de 25 anos. A população com idade igual ou superior aos 65 anos com 6.2 % ainda tem um peso pouco significativo na estrutura etária da região .



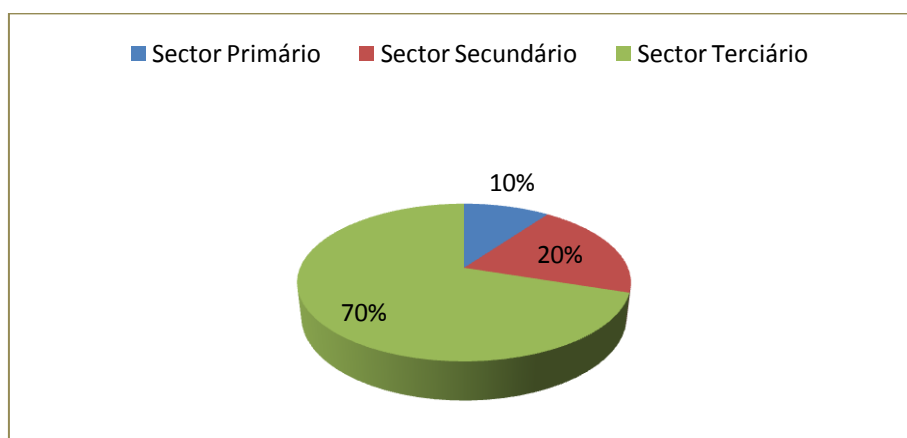
Fonte: Elaboração a partir dos dados do INE – CV

Figura 20 - Pirâmide de etária da população da Região Sul da ilha de Santiago no ano 2010

⁵ Critério proposto pelo INE no censo 2010 para dividir os grupos etários e os grupos funcionais.

Em relação à distribuição do género, a tendência é igual ao que se verifica no país, uma igualdade de género com ligeira predominância para o sexo feminino (51.1 %), em especial nas classes etárias mais idoso.

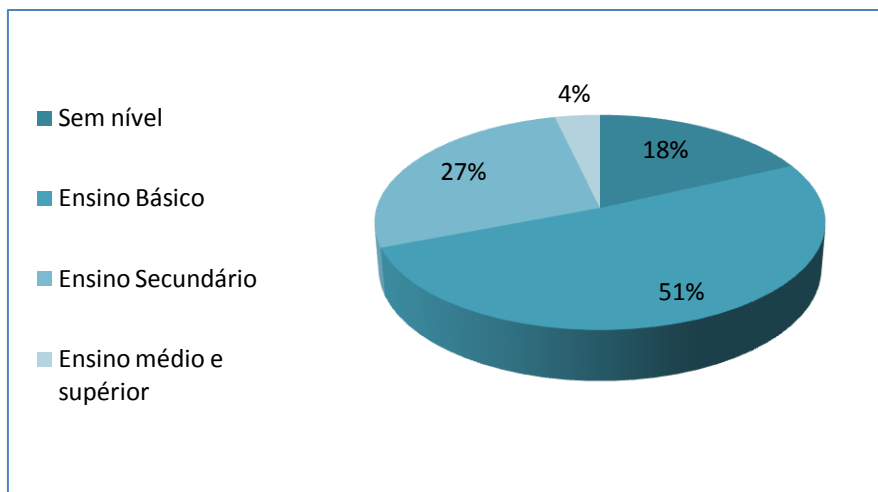
A análise da população empregada por sector de actividade define claramente o panorama económico da região. No ano 2000, a população activa na região distribuía-se de forma diferenciada pelos sectores da actividade (figura 21). O sector terciário com cerca de 70%, albergava maioria dos activos, apesar de dois dos três concelhos que integram essa região serem predominantemente rurais. Esta supremacia do sector terciário reflete o peso da cidade da Praia na economia regional e no aumento do consumo de bens e serviços. A taxa de desemprego era de 9.4 % ligeiramente abaixo da média nacional (10.7 %), no ano 2010.



Fonte: Elaboração a partir dos dados do INE – CV

Figura 21 - População empregada por sectores da actividade económica no ano 2000

Da leitura da figura 22, verifica-se que 51% da população com mais de 4 anos possuía o ensino básico, 27 % completou o ensino secundário. Por outro lado 18 % ainda não possui nenhum nível de instrução.



Fonte: Elaboração a partir dos dados do QUIBB

Figura 22 - Repartição da população com mais de 4 anos de idade segundo o nível de instrução

Quanto ao acesso às infraestruturas básicas na região, no ano 2010, mais de metade da população não possuía água canalizada da rede pública nos alojamentos, obrigando-os, a recorrer aos fontanários públicos ou comprando-a nos autotanques. Quanto à percentagem de alojamento com electricidade, era bastante relevante, em todos os concelhos (tabela 7).

Tabela 7- Alojamento com ligação à rede pública da distribuição de água e distribuição da electricidade (em %)

Concelho	Electricidade	Rede pública água
Praia	92	49.7
São Domingos	76	31.5
Ribeira Grande Santiago	67	47.8

Fonte: Censos 2010

Relativamente ao alojamento com sistema de evacuação das águas residuais, os dados referente à região são preocupantes uma vez que a percentagem das águas residuais evacuada ao redor da casa e na natureza são elevadas (tabela 8).

Tabela 8- Sistemas de evacuação das águas residuais (em %)

Concelho	Praia	São Domingos	Ribeira Grande santiago
Fossa séptica	35.1	12.5	11.3
Rede esgoto	14.8	0.0	0.0
Redor da casa	31.4	37.3	39.7
Natureza	18.6	48.9	48.5
outros	0	1.3	0.5

Fonte: QUIBB 2008

4. Identificação das áreas com aptidão para localizar o aterro sanitário a partir da combinação da análise multicritério e do *Analytic Hierarchy Process*.

4.1 Dados e material

Os dados utilizados no presente estudo (tabela 9) resultam de uma extensa revisão bibliográfica junto das diversas instituições públicas de Cabo Verde. As informações em formato *shape* e *tiff* foram disponibilizadas pela Direcção Geral de Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, pela CMP, CMSD e CMRGS. As em formato PDF foram extraídas dos PDM dos concelhos que integram a área de estudo. Houve necessidade de prepará-los para posteriormente os integrar em ambiente SIG, pelo *software* ArcGIS 10 da ESRI. Os PDF foram convertidos para *tiff*, georreferenciados e por fim vectorizados. Em relação aos *shapes* definiu-se uma escala e sistema de coordenada comum. A informação referente a altimetria encontra-se à escala de 1:25000 e com uma equidistância de 10 metros.

Tabela 9 - Características técnicas das informações utilizadas no estudo

Informação	Formato inicial	Tipos de Dados	Sistema de coordenada original	Sistema de coordenada final	Hardware Utilizado	Software Utilizado
Altimetria	.shp	Vectorial Linear	WGS _1984_ UTM ZONE _27N	WGS _1984_ UTM ZONE _27N	Portátil/ Computador	ArcGIS 10
Região Sul da ilha de Santiago	.shp	Vectorial Poligonal	GCS_WGS _1984			
ZDTI	PDF		Sem projecções/Coordenadas			
Edificado	.shp	Vectorial Poligonal	Sem Projecções/Coordenadas			
Áreas agrícolas	PDF					
Aeroporto	.shp	Vectorial Poligonal	GCS_WGS _1984			
Pontos de água	PDF		Sem Projecções/Coordenadas			
Orla costeira	.shp	Vectorial Linear	WGS _1984_ UTM ZONE _27N			
Estradas principais ⁶	.shp	Vectorial Linear	WGS _1984_ UTM ZONE _27N			
Áreas protegidas	PDF		Sem Projecções/Coordenadas			
Centro da produção dos RSU	.shp	Vectorial Poligonal	GCS_WGS _1984			
Geologia	Tiff	Raster	Sem Projecções/Coordenadas			
Ribeiras e eixos principais de água	.shp	Vectorial Linear	WGS _1984_ UTM ZONE _27N			

⁶ Correspondem a Estradas Nacionais de Santiago nível 1(MDHOT,2010)

4.2 Determinação dos pesos

A ponderação dos critérios da análise de decisão tem uma grande influência sobre o resultado que se pretende. Para a determinação dos pesos dos critérios utilizados neste estudo, adoptou-se o método AHP, proposto por Thomas Saaty (1980). Esta metodologia consiste em dividir o problema em níveis hierárquicos de tomada de decisão (figura 3). Após a hierarquização do problema, em cada nível, os critérios que condicionam a tomada de decisão são comparados dois a dois, numa matriz de decisão quadrada, alicerçada numa escala de importância de nove níveis numéricos (tabela 10).

Tabela 10 - Escala de comparação de critérios

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
Menos importante					Mais importante			

Fonte: Saaty (1980)

O processo AHP é concluído pela determinação da importância relativa de cada critério/subcritério e pela validação da consistência destas operações⁷. Se o índice de consistência for inferior a 10 %, significa que existe uma coerência na comparação par a par (Saaty, 1980).

O valor atribuído na comparação par-a-par dos critérios foi realizado com base na revisão da literatura internacional, referente a localização de aterros, nomeadamente Siddiqui, 1996; Kontos et. al, 2005; Al-Jarrah e Abu-Qdais, 2006; Sumathi, 2008; Guiqin et. al, 2009; Tavares 2010.

De acordo com o método AHP, inicialmente calculou-se o peso dos critérios do 2º nível. Neste nível, a hidrogeologia recebeu maior importância (40.6 %), seguido da acessibilidade (28.8%), enquanto o uso do solo e a morfologia receberam uma importância relativa de 20.8% e 9.8%, respectivamente (tabela 11).

⁷ As fórmulas utilizadas, assim como as diferentes etapas para calcular o peso de todos os critérios/subcritérios, o valor principal de *eigen*, índice de consistência e grau de consistência, foram apresentadas e explicadas na secção 1.2.4 do capítulo I.

Tabela 11- Matriz de comparação par a par dos critérios do 2º nível

Critérios	A	B	C	D	Peso em %
Uso do solo (A)	1	1/2	3	1/2	20.8
Hidrogeologia (B)	2	1	3	2	40.6
Morfologia (C)	1/3	1/3	1	1/3	9.8
Acessibilidade (D)	2	1/2	3	1	28.8
Total					100

CI = 0.0467 e CR = 0.0519 < 0.1

A ponderação dos critérios do 3º e 4º nível seguiu os mesmos procedimentos relatados anteriormente.

Nos subcritérios do uso do solo, as áreas edificadas (18.5%) e o Património cultural (18.5 %) receberam maior peso (tabela 12).

Tabela 12- Matriz de comparação par- a- par dos subcritérios do Uso do solo

Uso do solo (A)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Peso em %
Áreas edificadas (A1)	1	1	2	1	2	1	2	18.5
ZDTI (A2)	1	1	1	1	2	1	1	15.1
Orla costeira (A3)	1/2	1	1	1/2	2	1	1	12.6
Património cultural (A4)	1	1	2	1	2	1	2	18.5
Áreas agrícolas (A5)	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	7.6
Aeroporto (A6)	1	1	1	1	2	1	1	15.1
Áreas protegidas (A7)	1/2	1	1	1/2	2	1	1	12.6
Total								100

CI = 0.0207 e CR = 0.0142

Nos subcritérios da hidrogeologia, as unidades hidrogeológicas receberam maior peso (50%) enquanto os pontos de água e as ribeiras e eixos principais de água , receberam o mesmo peso (25%), tabela 13.

Tabela 13- Matriz de comparação par -a- par dos subcritérios da Hidrogeologia

Hidrogeologia (B)	B1	B2	B3	Peso em %
Unidade hidrogeológicas (B1)	1	2	2	50
Pontos de água (B2)	1/2	1	1	25
Ribeiras e eixos principais de água (B3)	1/2	1	1	25
Total				100

CI = 0.0000 e CR = 0.0000

Os critérios de análise do 4º nível receberam as seguintes ponderações: Unidade base, 58.9%, unidade intermédia 27.8% e unidade recente 13.3% (tabela 14).

Tabela 14 - Matriz de comparação par a par das unidades Hidrogeológicas

B1	B1.1	B1.2	B1.3	Peso em %
Unidade recente (B1.1)	1	1/3	1/5	13.3
Unidade intermédia (B1.2)	2	1	1/3	27.8
Unidade base (B1.3)	3	2	1	58.9
Total				100

CI = 0.0000 e CR = 0.0000

Quanto ao subcritério da morfologia, o declive recebeu maior peso (75 %) enquanto as orientações das vertentes receberam apenas 25% (tabela 15).

Tabela 15- Matriz de comparação par a par da morfologia

Morfologia (C)	C1	C2	Peso em %
Declive (C1)	1	3	75
Orientações das vertentes (C2)	1/3	1	25
Total			100

CI = 0.0000 e CR = 0.0000

Por último, calculou-se o peso dos subcritérios da acessibilidade, atribuindo-se um peso de 67% ao centro da produção dos resíduos sólidos urbanos e os restantes 33 % às estradas principais (tabela 16).

Tabela 16- Matriz de comparação par a par dos subcritérios da Acessibilidade

Acessibilidade (D)	D1	D2	Peso em %
Principais vias (D1)	1	1/2	33
Centro da produção dos RSU (D2)	2	1	67
Total			100

CI =0.0 000 e CR=0.0000

4.3 Análise multicritério da área de estudo

A análise multicritério é realizada através de três etapas essenciais: a classificação dos parâmetros considerados; a normalização das unidades e ordens dos parâmetros e a ponderação, onde a cada critério é atribuído um peso que expressa a importância de cada parâmetro em relação aos outros (Malczewski, 1999). Ao longo desta secção procuram-se implementar essas sequências.

A localização do aterro depende das restrições legais e das condições naturais de uma área, pelo que há necessidade de avaliar vários critérios da análise de decisão. Segundo Levy & Cabeças (2006, p. 168), a localização do aterro depende: *da dimensão da região e do universo populacional a servir; dos dados de base e da perspectiva de evolução; da Aptidão dos terrenos passíveis de serem utilizados e das medidas mitigadoras a implementar*”.

Para identificar as áreas com melhor aptidão para a implantação do AS, na Região Sul da ilha de Santiago, foram analisados catorze critérios, divididos em quatro categorias: uso do solo, hidrogeologia, morfologia e acessibilidade (Tabela 17). Estes foram seleccionados com base na literatura internacional (Siddiqui, 1996; Kontos et al, 2005; Al-Jarrah e Abu-Qdais, 2006, Sumathi et al, 2008; Tavares, 2010; Sener, 2011), na legislação Europeia, nomeadamente a Directiva 93 e na legislação Cabo-verdiana incluindo os PDM dos municípios que integram a área de estudo.

Tabela 17 - Critérios utilizados no estudo.

Critérios	Peso %	Subcritérios	Atributos espacial	Peso %
Uso do solo	20,8	Áreas edificadas	Distância das áreas edificadas	18.5
		ZDTI	Distância ZDTI	15.1
		Orla costeira	Distância da orla costeira	12.6
		Património cultural	Distância do património cultural	18.5
		Áreas agrícolas	Distância das áreas agrícolas	7.6
		Aeroporto	Distância do aeroporto	15.1
		Áreas protegidas	Distância das áreas protegidas	12.6
Acessibilidade	28,8	Principais vias	Distância das principais vias	33
		Centro da produção dos RSU	Distância do centro da produção dos RSU	67
Morfologia	9,8	Declive	Classificação dos declives em graus	75
		Orientação das vertentes	Classificação das orientações das vertentes	25
Hidrogeologia	40,6	Unidade hidrogeologia	Formação hidrogeológica	25
		Pontos de água	Distância de pontos de água	50
		Ribeiras e eixos principais de água	Distância das ribeiras	25

4.3.1 Uso do solo

Os parâmetros utilizados para a análise da aptidão do uso do solo foram: património cultural, áreas protegidas, áreas agrícolas, aeroporto, áreas edificadas, orla costeira e Zona de Desenvolvimento Turístico Integrado (ZDTI), figura 23.

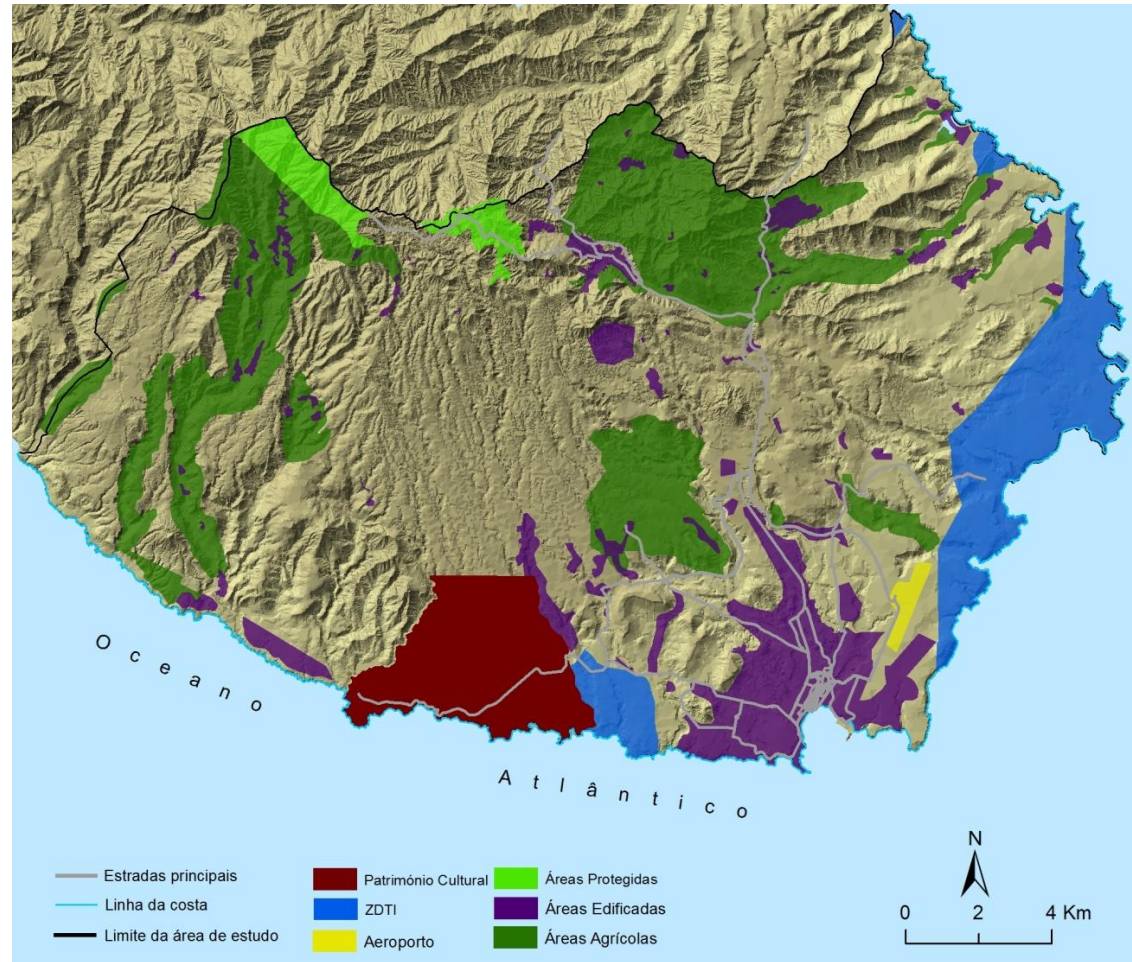


Figura 23 - Formas de ocupação do uso do solo

Esses parâmetros baseiam-se em restrições legais (legislação Cabo-verdiana e Europeia) e as distâncias (Literatura internacional nomeadamente Kontos et al. 2005 e Guiqin et al. 2009), tabela 18.

Tabela 18- Valor da classificação dos atributos dos subcritérios do uso do solo

Distância em metros(m)	Valor da Classificação
>2500	5
2500 - 2000	4
2000 - 1500	3
1500 - 1000	2
1000 – 500	1
< 500	0

a) Património cultural

A área do património cultural localiza-se no concelho da Ribeira Grande de Santiago. A Resolução nº5/2009, de 16 de Março de 2009, delimitou a zona do sítio histórico da Cidade Velha e a sua Zona Tampão, classificando-as de património nacional e de zona *Non Aedificandi*. Em 2009, o Sítio Histórico foi reconhecido pela UNESCO, como Património Mundial da Humanidade.

Dentro destas áreas, assim como a área envolvente (500 m) da zona tampão foram consideradas inadequadas para a localização do aterro. Portanto, o valor da classificação atribuída foi 0 (tabela 18). De 500 a 1000 m da Zona Tampão a classificação atribuída foi 1. Na distância intermédia entre 1000 a 1500m atribuiu-se a classificação 2. De 1500 a 2000 m e até 2500 m, classificou-se, respectivamente, 3 e 4, ao passo que as áreas que estão à distância igual ou superior a 2500 m, receberam o valor 5 (figura 24).



Figura 24 - Classificação das distâncias do património cultural

b) Áreas protegidas

A Serra do Pico da Antónia e o Parque Natural de Rui Vaz são classificados como áreas protegidas, segundo a legislação cabo-verdiana (Decreto-Lei Nº3/2003). Estas áreas, pelas suas relevâncias para a biodiversidade, pelos seus recursos naturais, função ecológica, interesse socioeconómico, cultural, turístico ou estratégico, são interditas para a localização de aterros sanitários (MAAP, 2003).

Perante esta restrição legal, criou-se um *buffer* de 500m em torno destas áreas, atribuindo-o, a classificação 0 (tabela 18). À medida que se afasta desta área aumenta o valor da classificação (figura 25).

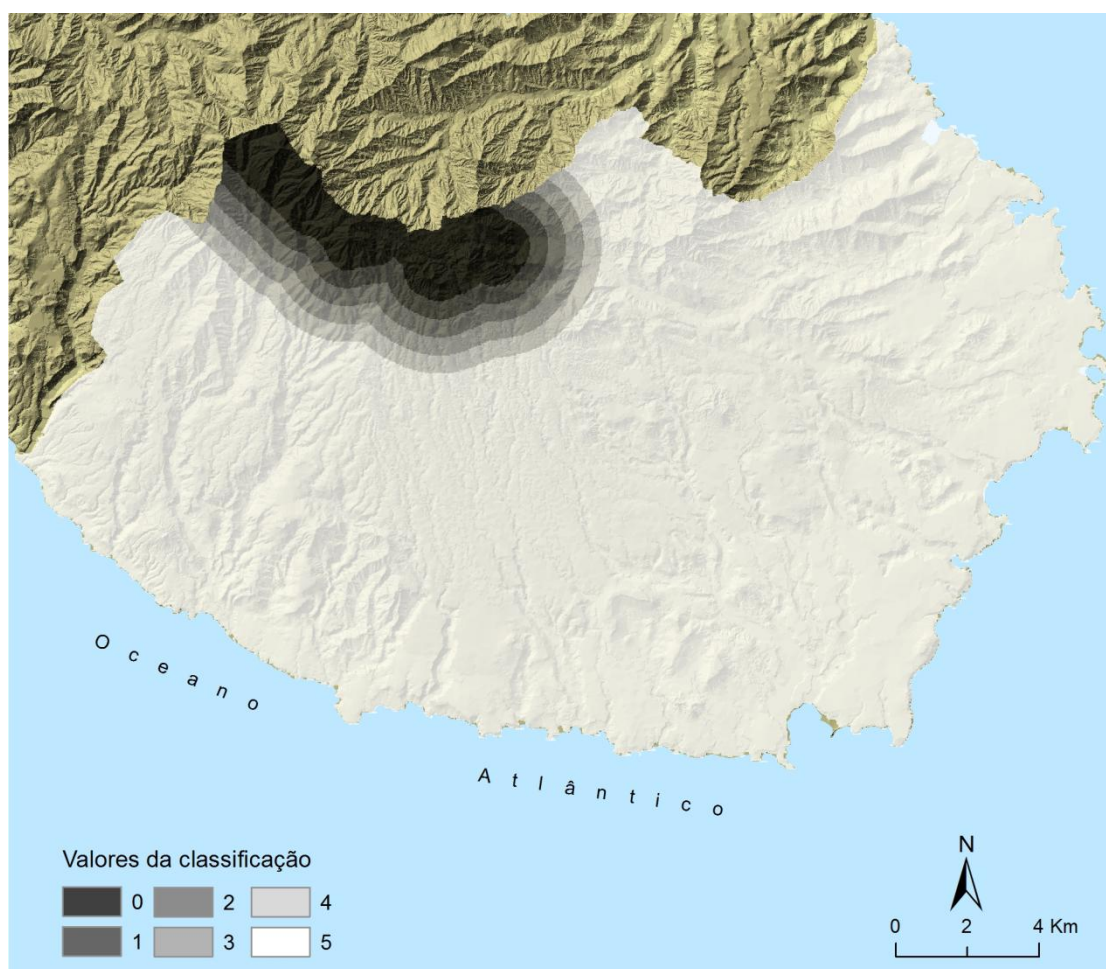


Figura 25 - Classificação das distâncias das áreas protegidas

c) Zona de Desenvolvimento Turístico Integrado

Segundo a legislação cabo-verdiana, as ZDTI são áreas destinadas ao desenvolvimento turístico, pelo que é interdita a construção de aterro sanitário nesta zona (Decreto-Regulamentar nº. 7/94, de 23 de Maio). Perante esta restrição legal criou-se um *buffer* de 500m em torno desta zona e atribuiu-se o valor 0, uma vez que um aterro sanitário nunca poderá ser aí instalado (tabela 18). O gradiente estabelecido aumenta de peso à medida que se afasta desta zona (figura 26).

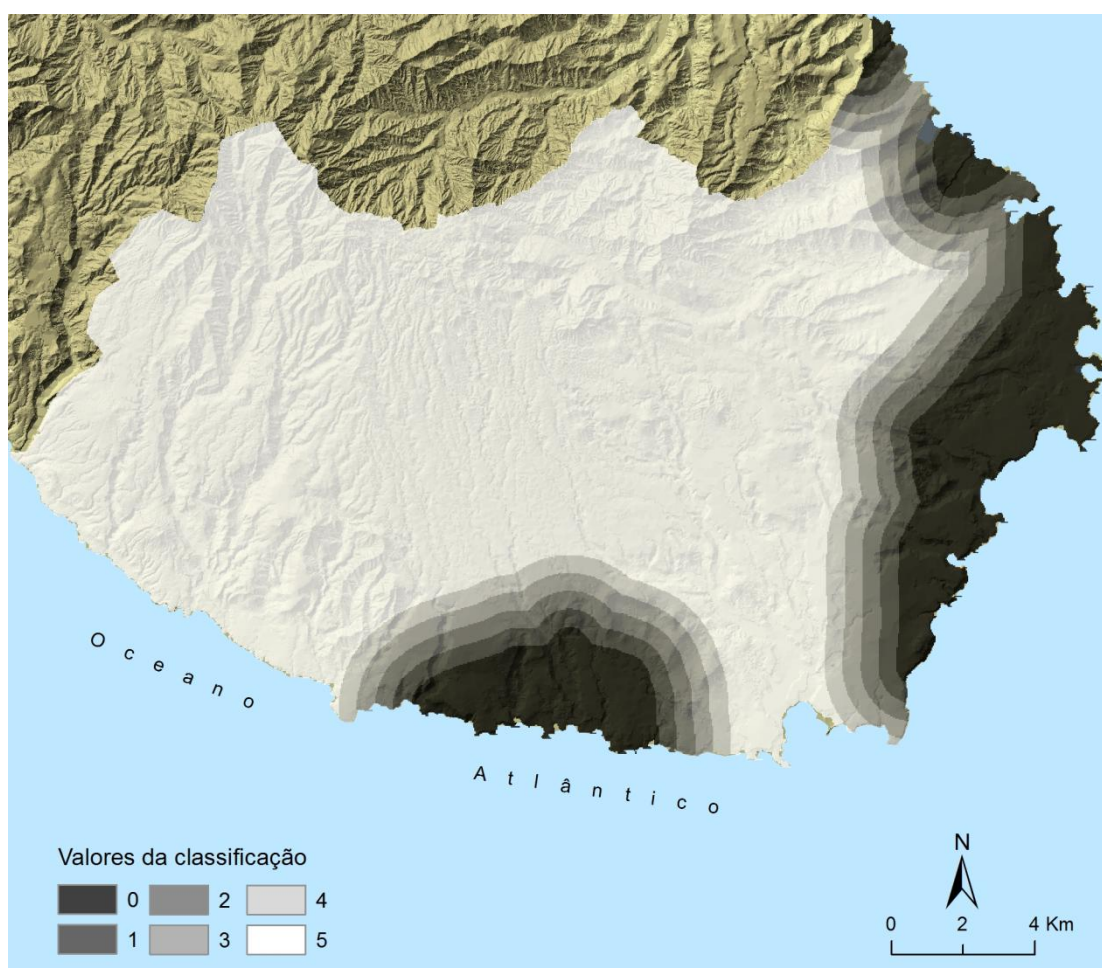


Figura 26 - Classificação das distâncias da ZDTI

d) Áreas agrícolas

Segundo a legislação cabo-verdiana, as áreas de protecção agrícola abrangem os solos com aptidão para a prática da agricultura de regadio. Nestas áreas são proibidas as construções de aterros e outras infraestruturas, salvo nos casos em que a construção serve de apoio à actividade agrícola. Perante esta restrição, atribuiu-se o valor 0 à zona agrícola(tabela 18). No entanto, à medida que se afasta destas áreas o valor da classificação aumenta. Este subcritério é classificado da mesma forma que os da alíneas *a)* e *b)* (figura 27).

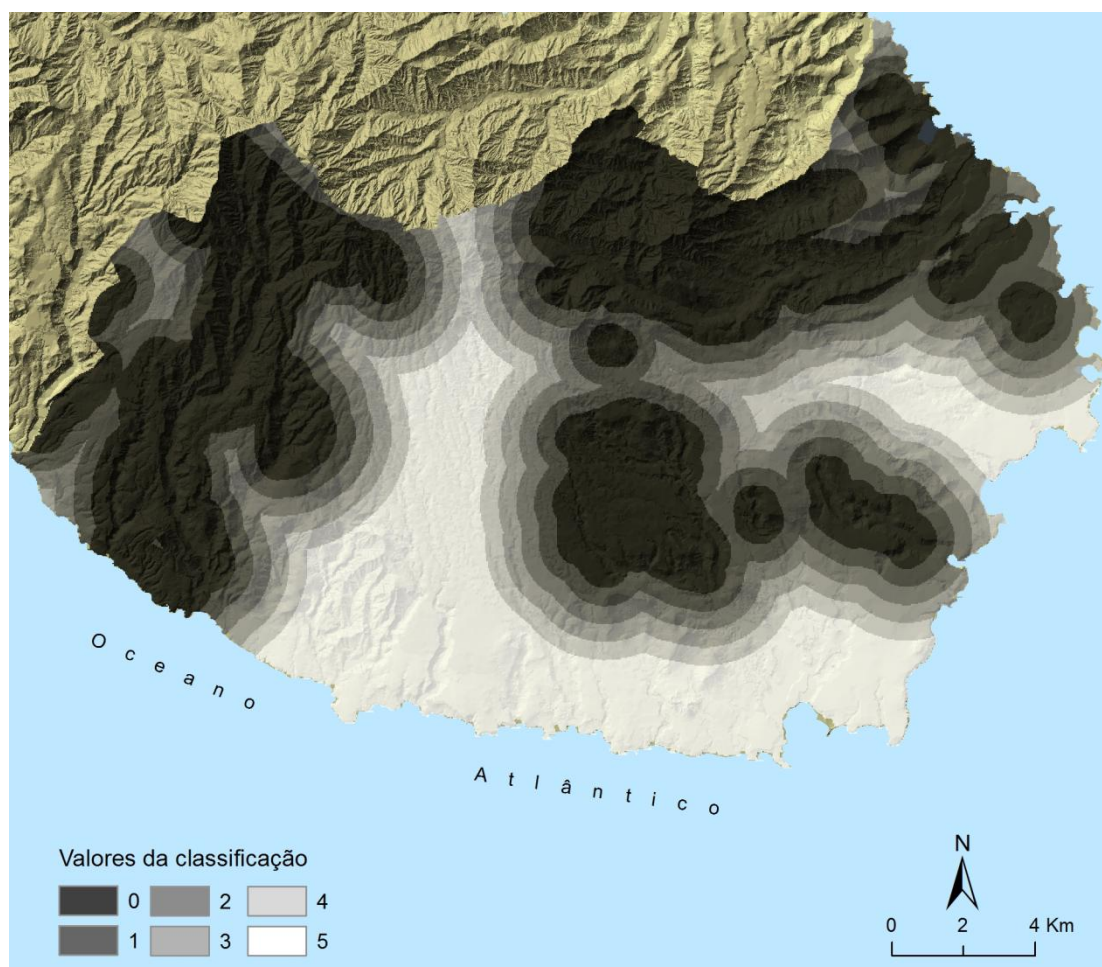


Figura 27 - Classificação das distâncias das áreas agrícolas

e) Áreas edificadas

A localização de um aterro deve ser afastada das áreas residenciais, porque provoca maus cheiros, proliferação dos insectos, de roedores, de aves e do ruído, os quais podem ser lesivos para a saúde pública, facto que justifica a existência de uma distância mínima entre o aterro e as áreas urbanas. De acordo com a legislação de Cabo Verde, essa distância é de 400 metros de qualquer núcleo urbano. No entanto, a distância mínima adoptada neste trabalho, foi de 500 m (Directiva da União Europeia). Criou-se por isso um *buffer* de 500 metros das áreas edificadas e atribuiu-se o valor 0 (tabela 18). As restantes classificações foram concebidas da mesma forma que as anteriores (figura 28).

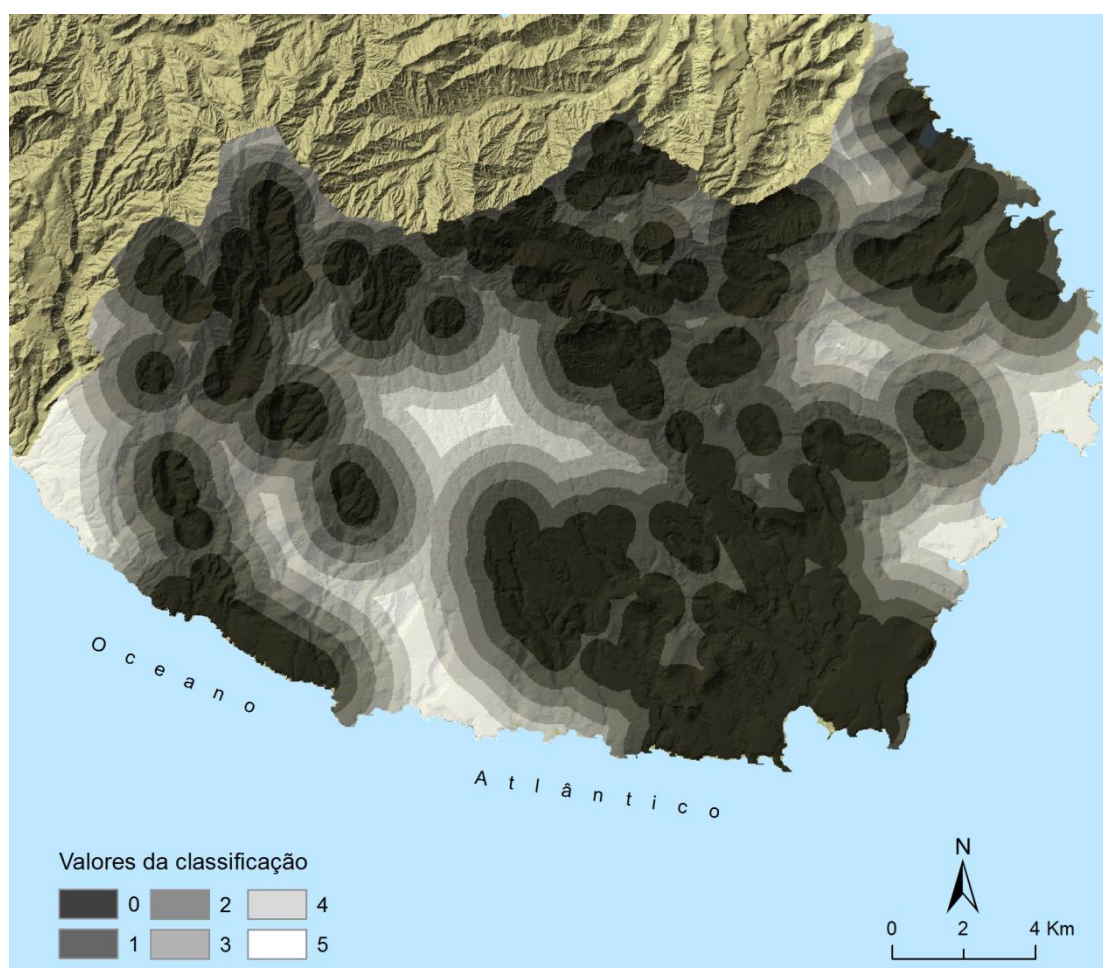


Figura 28 - Classificação das distâncias das áreas edificadas

f) Aeroporto

Os aterros atraem uma grande variedade de aves, que podem interferir nas operações de aviões, pelo que é essencial considerar uma distância adequada para a localização do mesmo. Segundo as normas internacionais de segurança, um aterro sanitário deve estar

a uma distância mínima de 3000 m de um aeroporto (Kontos et. al, 2005; Guiqin et. al, 2009).

Tabela 19- Classificação das distâncias do aeroporto

Distância em metros(m)	Valor da Classificação
>7000	5
7000 - 6000	4
6000 - 5000	3
5000 - 4000	2
4000 - 3000	1
< 3000	0

Por isso, até 3000 m de distância do aeroporto foi atribuído o valor 0 (tabela 19). À medida que se afasta da área aeroportuária aumenta o gradiente estipulado (figura 29).

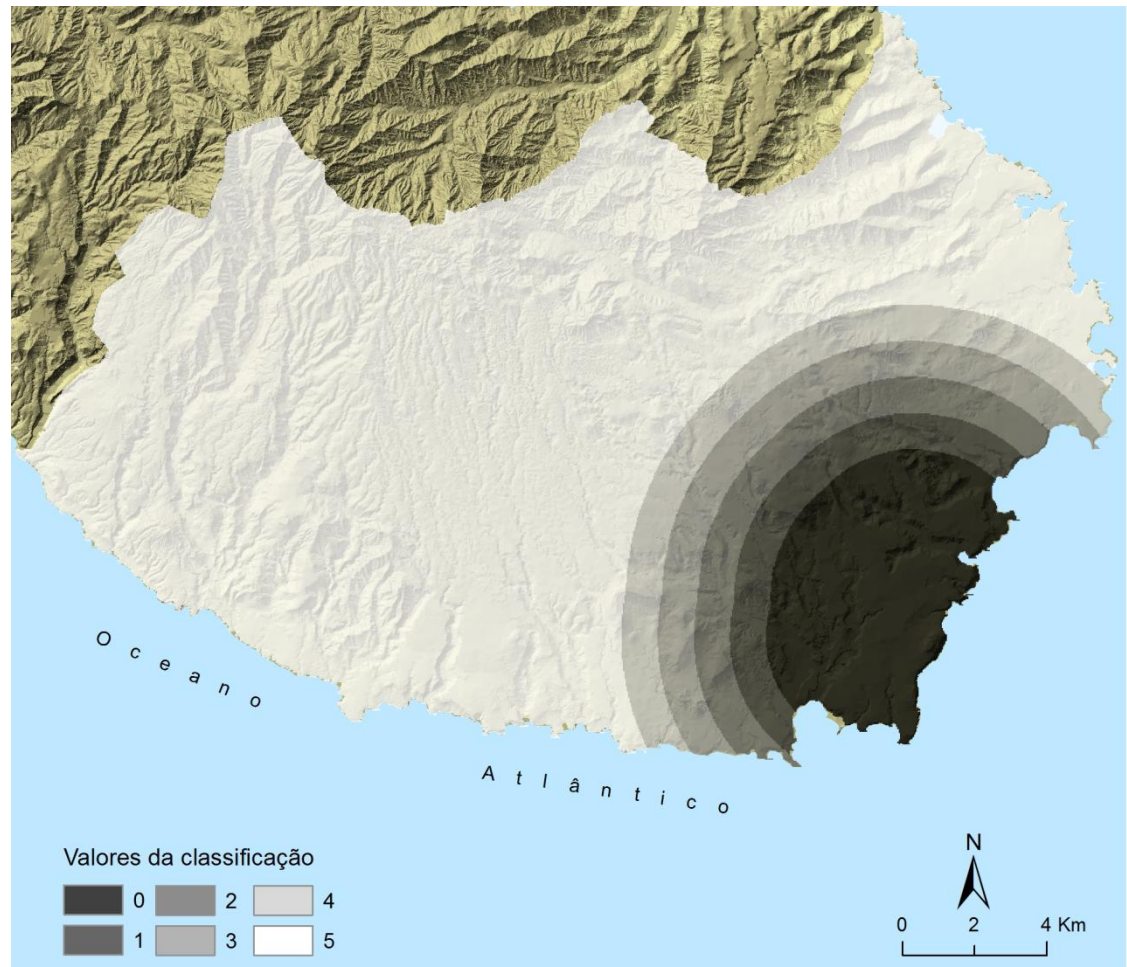


Figura 29 - Classificação das distâncias do aeroporto

g) Orla Costeira

No Art. 3^o, alínea e) da Lei 44/VI/2004 de 12 de Julho, referente ao regime dos bens do domínio marítimo do Estado , definiu-se uma faixa de protecção à orla costeira de 80 metros, pelo que é interdita a edificação de infraestruturas ou de quaisquer outras acções que comprometam a estabilidade física e o equilíbrio ecológico desta zona, nomeadamente o depósito dos RSU.

Tabela 20 – Classificação das distâncias da orla costeira

Distância da orla costeira	Valor da Classificação
>800	5
800 -600	4
600 – 400	3
400 – 200	2
200 – 80	1
<80	0

Nesta faixa atribuiu-se o valor 0 (tabela 20). À medida que a distância à orla costeira vai sendo maior, aumenta o valor da classificação estabelecida (figura 30).



Figura 30 - Classificação das distâncias da orla costeira

O processo de agregação desses subcritérios, através do *Weighted Overlay*, com base nos pesos, gerou os níveis de aptidão do uso de solo (figura 31).

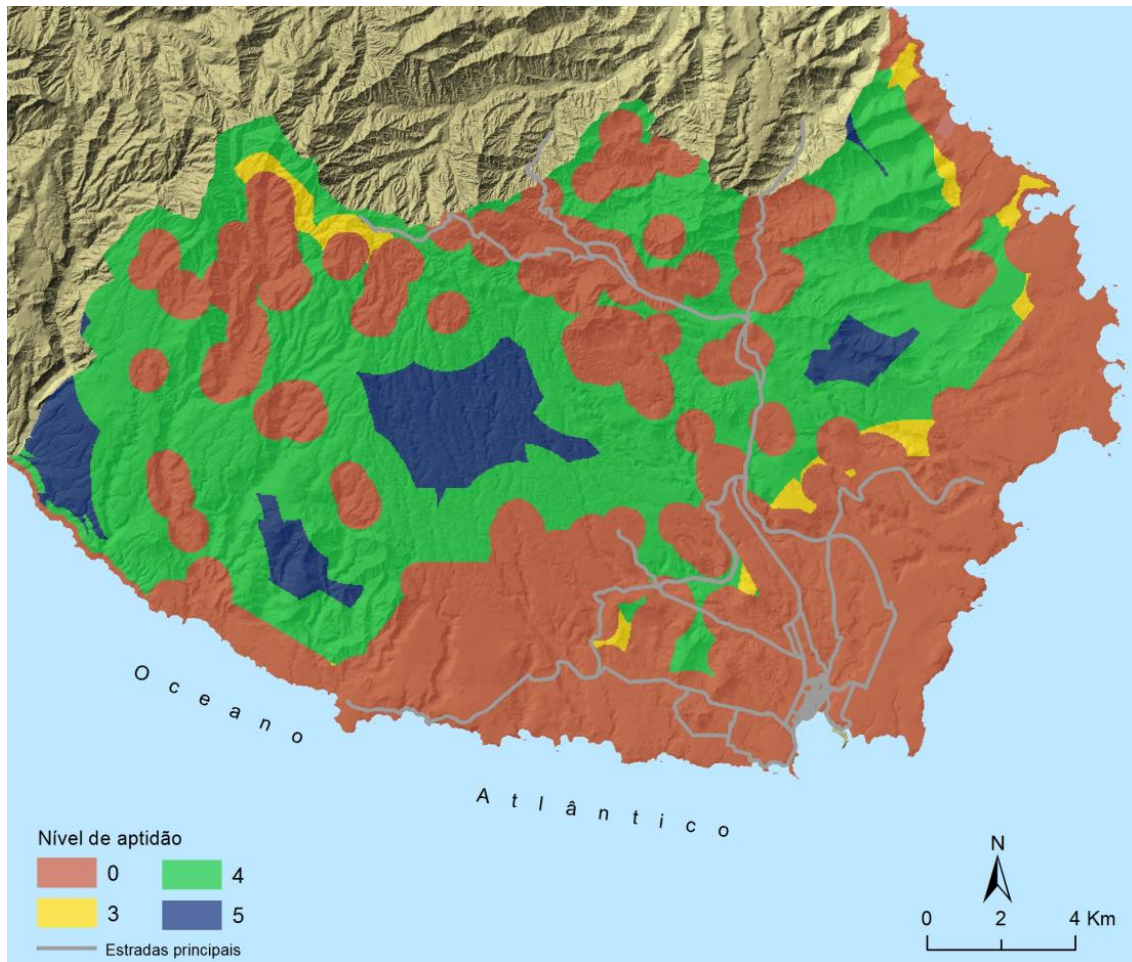


Figura 31 - Análise do uso do solo por níveis de aptidão

4.3.2 Hidrogeologia

Para determinar a aptidão da Hidrogeologia utilizaram-se os seguintes parâmetros: Unidade hidrogeológica, pontos de água e ribeiras e eixos principais de água .

a) Unidade hidrogeológica

De acordo com o nível da permeabilidade dos solos, a área de estudo é constituída por três unidades hidrogeológicas com características e comportamentos hidráulicos distintos. A unidade recente, pelas suas características geológicas com já foi referido é a mais permeável enquanto a unidade base é a menos permeável (Gomes, 2008).

No intuito de atenuar os riscos da contaminação dos lençóis freáticos pelas águas lixiviantes, considerou-se inadequada (0) a localização do aterro nos solos mais permeáveis (unidade recente), porque apresenta elevados valores médios de transmissividade, o que facilita a infiltração das águas lixiviantes em direcção ao aquífero (Gomes, 2008).

A unidade base caracteriza-se por um grau de compactação elevado, pelo que apresenta valores de transmissividade bastantes baixos, relativamente a unidade recente (Gomes, 2008). Face ao exposto esta unidade apresenta melhor aptidão para localizar o aterro, porque reduz significativamente a infiltração das águas lixiviantes (figura 32).

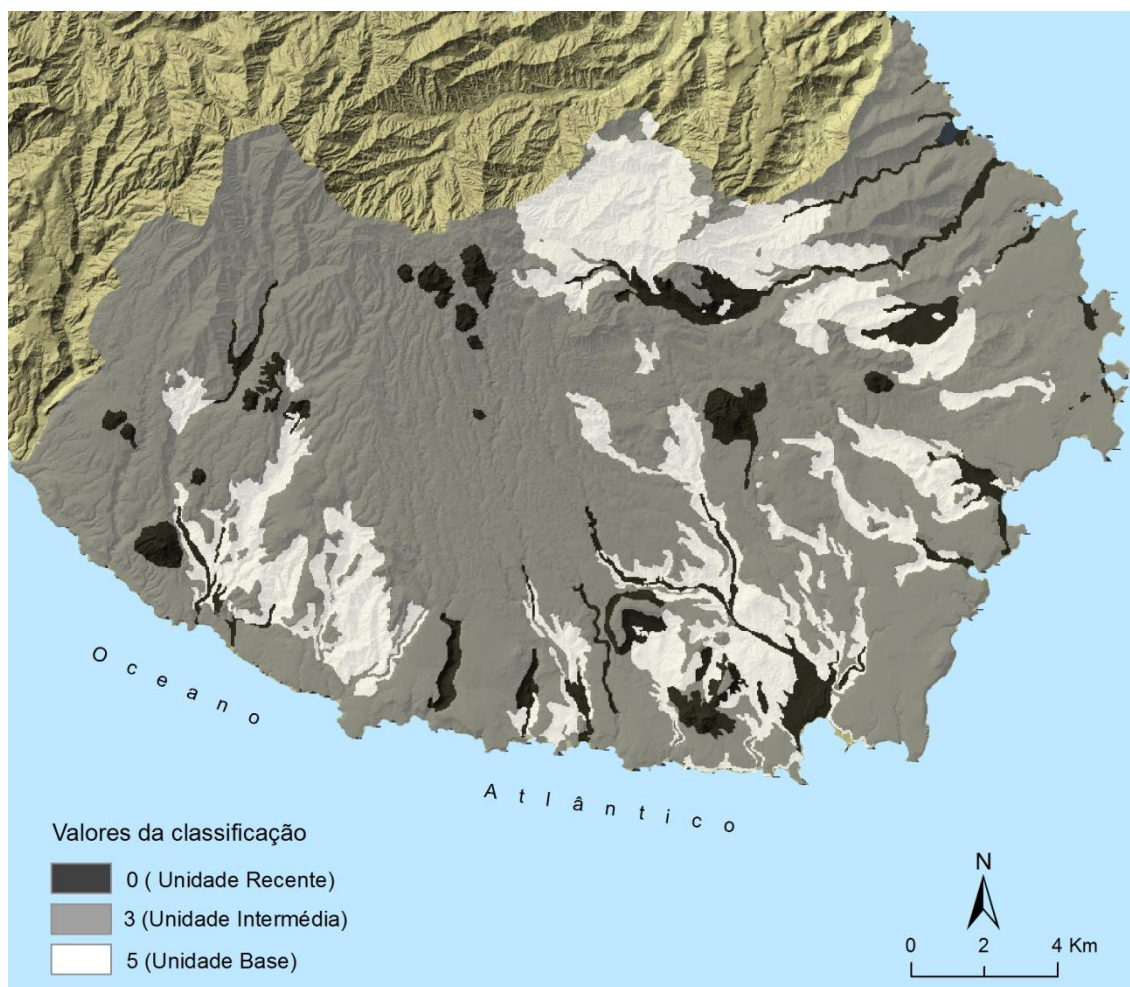


Figura 32 - Classificação das unidades hidrogeológicas por nível de permeabilidade

b) Pontos de água

De acordo com as normas vigentes na União Europeia relativas ao processo de implementação de um aterro, deve-se averiguar a existência das águas subterrâneas, para evitar eventual contaminação dos aquíferos por águas lixiviantes geradas nos aterros (Directiva 99/31/CE). A legislação cabo-verdiana estabelece uma distância mínima de 400 metros entre pontos de água e áreas de deposição de resíduos sólidos. Em conformidade com a legislação cabo-verdiana, traçou-se um *buffer* de 400 metros nos vários pontos de água, atribuindo-se o valor 0 à área interior ao *buffer* (figura 33).

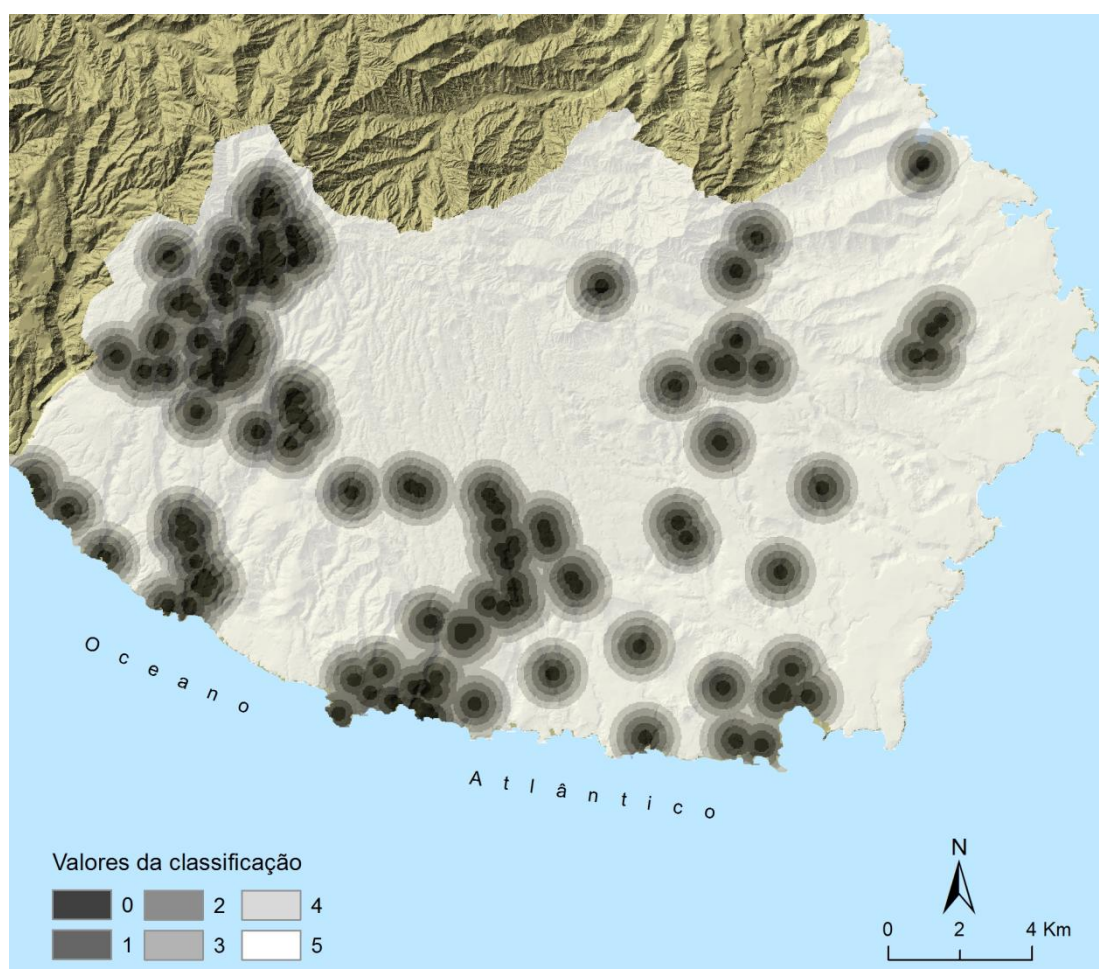


Figura 33 - Classificação das distâncias dos pontos de água

A tabela 21 ilustra a classificação atribuída as distâncias dos pontos de água existentes na Região Sul da ilha de Santiago.

Tabela 21- Classificação das distâncias dos pontos de água

Distância de pontos de água(em metros)	Valor da Classificação
> 2500	5
2500 - 2000	4
2000 – 1500	3
1500 – 1000	2
1000 - 400	1
< 400	0

c) Ribeiras e eixos principais de água

“Nas Ribeira e eixos principais das linhas de água, a edificação é interdita numa faixa de 10 metros para cada lado da linha de água Estas faixas deverão ser plantadas com vegetação ripícola, para protecção da linha de água e margens” (CMSD, 2007: 22). Perante, esta proibição legal criou-se uma área envolvente de 20 metros, considerando-a inadequada para a localização do aterro sanitário. A área interior ao buffer atribuiu-se um valor 0 (tabela 22).

Tabela 22- Classificação das distâncias das ribeiras e eixos principais de água

Distância das ribeiras e eixos principais de	Valor da Classificação
> 100	5
100 - 80	4
80 – 60	3
60 – 40	2
40 - 20	1
< 20	0

À medida que se afasta desta área aumenta a classificação atribuída (figura 34).

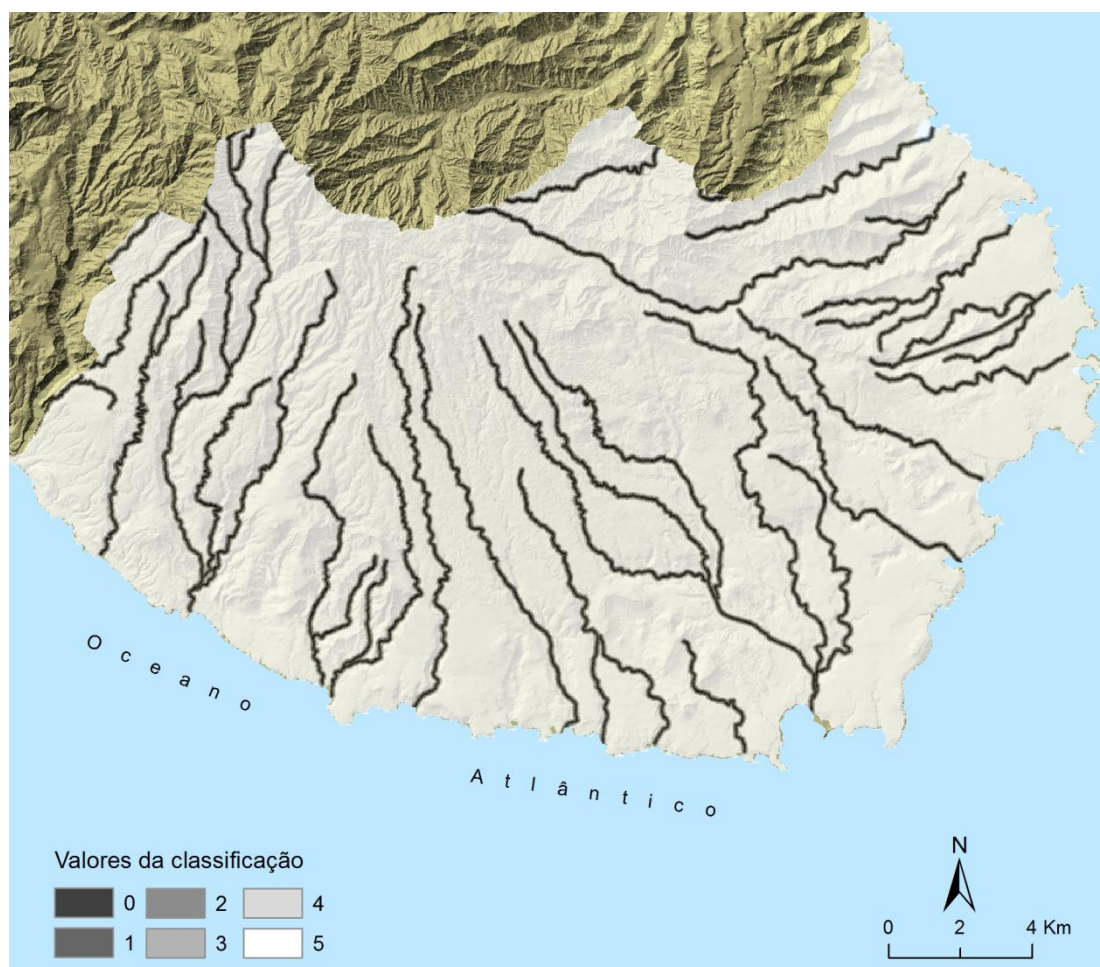


Figura 34 - Classificação das distâncias da ribeiras e eixos principais de água

O nível de aptidão da hidrogeologia, resultou da agregação das unidade hidrogeológicas, pontos de água e ribeiras e eixos principais de água , através do procedimento *Weighted Overlay*, com base nos pesos (figura 35).

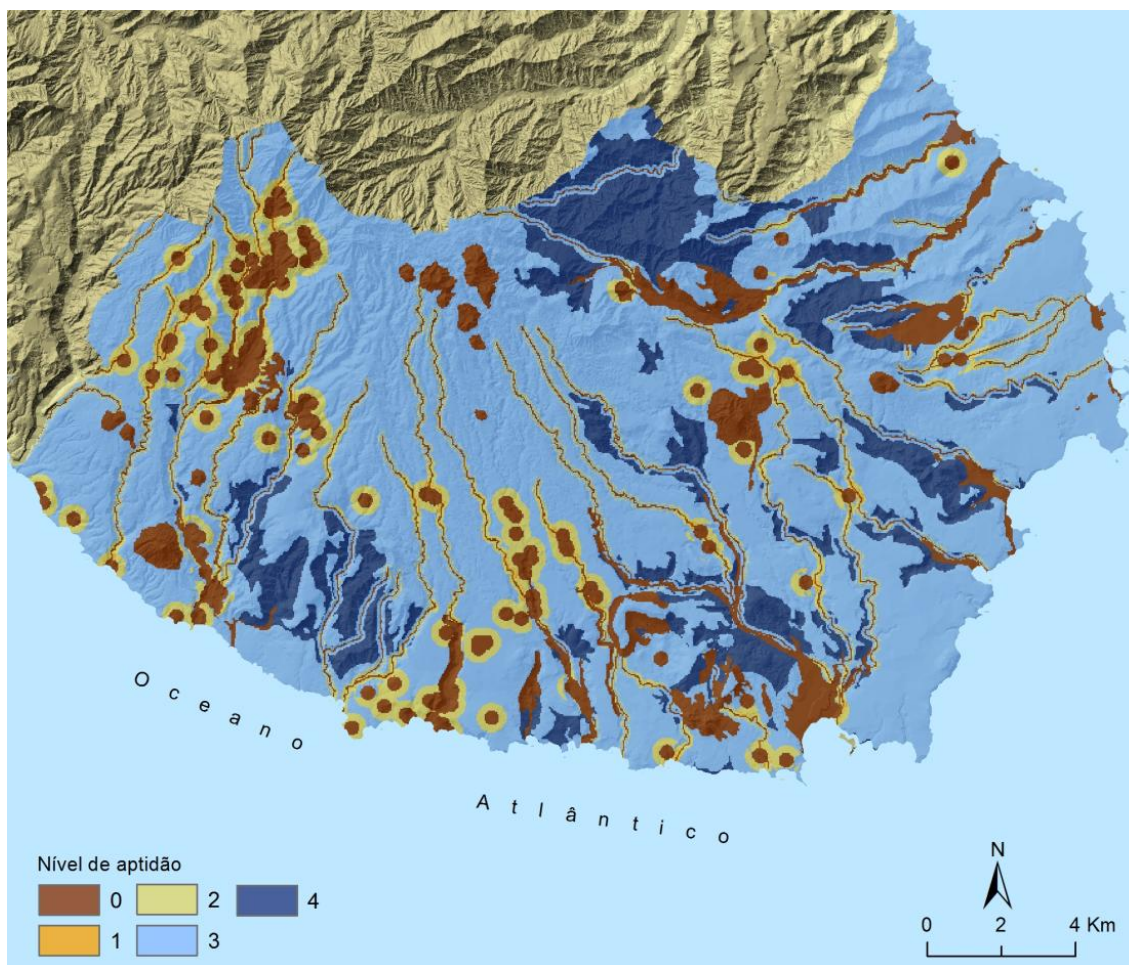


Figura 35 - Análise da hidrogeologia por níveis de aptidão

4.3.3 Morfologia

a) Declive

O cálculo do declive foi efectuado a partir do modelo digital de terreno da área de estudo, expresso em graus(°) e foram definidas quatro classes (tabela 23). A localização de aterro em zonas com declives acentuados implica um acréscimo substancial dos custos, dada a necessidade de efectuar operações de escavação do terreno. Quanto maior declive tiver a área, maior será o custo da escavação, além disso, uma inclinação adequada do terreno torna-se relevante para a prevenção da lixiviação dos solos (Kontos et. al, 2005; Gemitzi et. al, 2006; Javaheri et. al, 2006 ; Guiqin et. al, 2009).

Tabela 23- Classificação dos declives

Declive em grau	Valor da Classificação
0 - 10	5
10 - 15	4
15 - 20	3
>20	0

Considerou-se adequado para a construção do aterro, as áreas cujo declive varia entre 0 e 10°, pelo que a classificação atribuída foi 5. De 10 – 15° a classificação foi 4, de 15 a 20° atribuiu-se 3 e os terrenos com declives superiores a 20° foram considerados inadequados, porque a sua construção é oneroso (Guiqin et. al, 2009), figura 36.

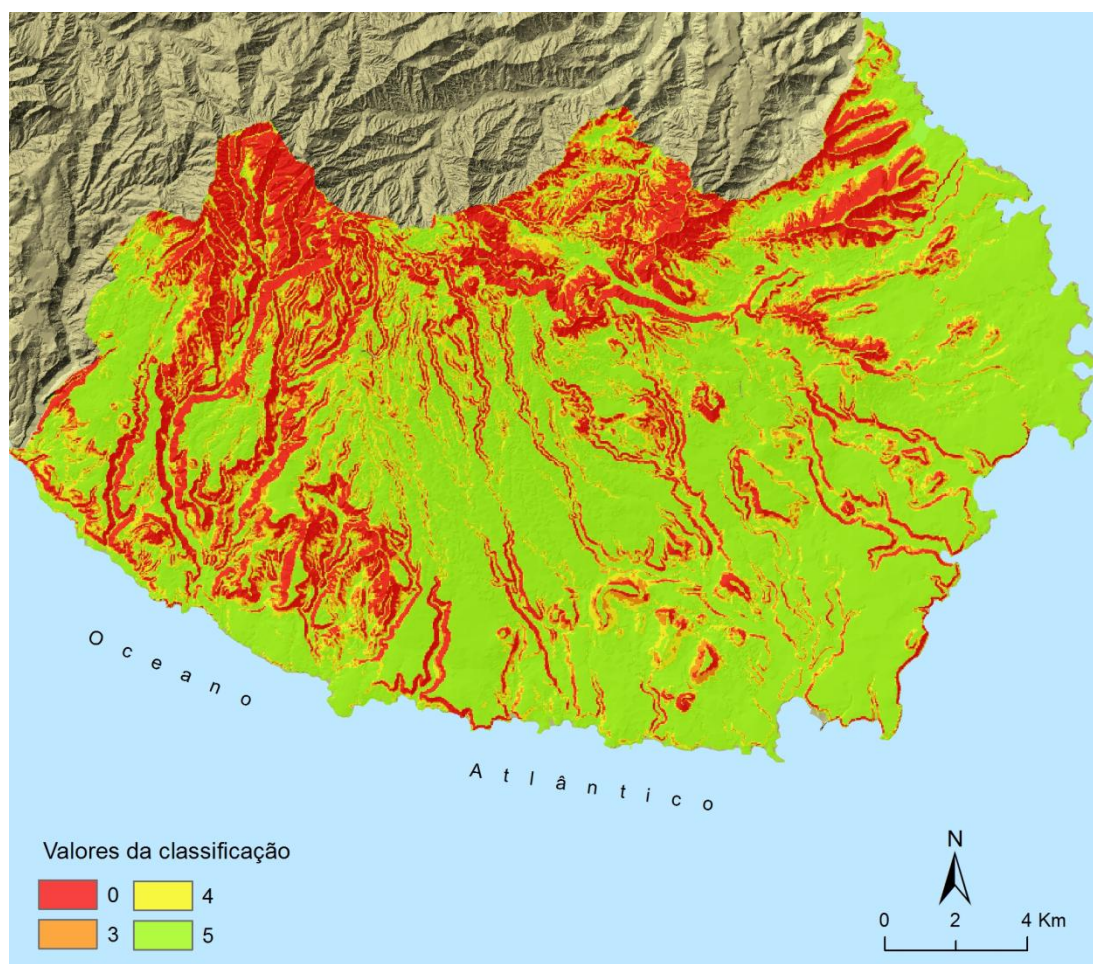


Figura 36 - Classificação dos declives

b) Orientação das vertentes

No intuito de proteger as áreas urbanas dos odores produzidos pelo aterro sanitário, a orientação das vertentes e as frequências dos ventos foram considerados neste estudo. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia de Cabo Verde, os ventos dominantes na área de estudo são ventos de Nordeste e Nor-Nordeste. Consequentemente, estas vertentes receberam pontuações mais baixas, figura 37 (Kontos et. al, 2005; Sener et. al, 2011).

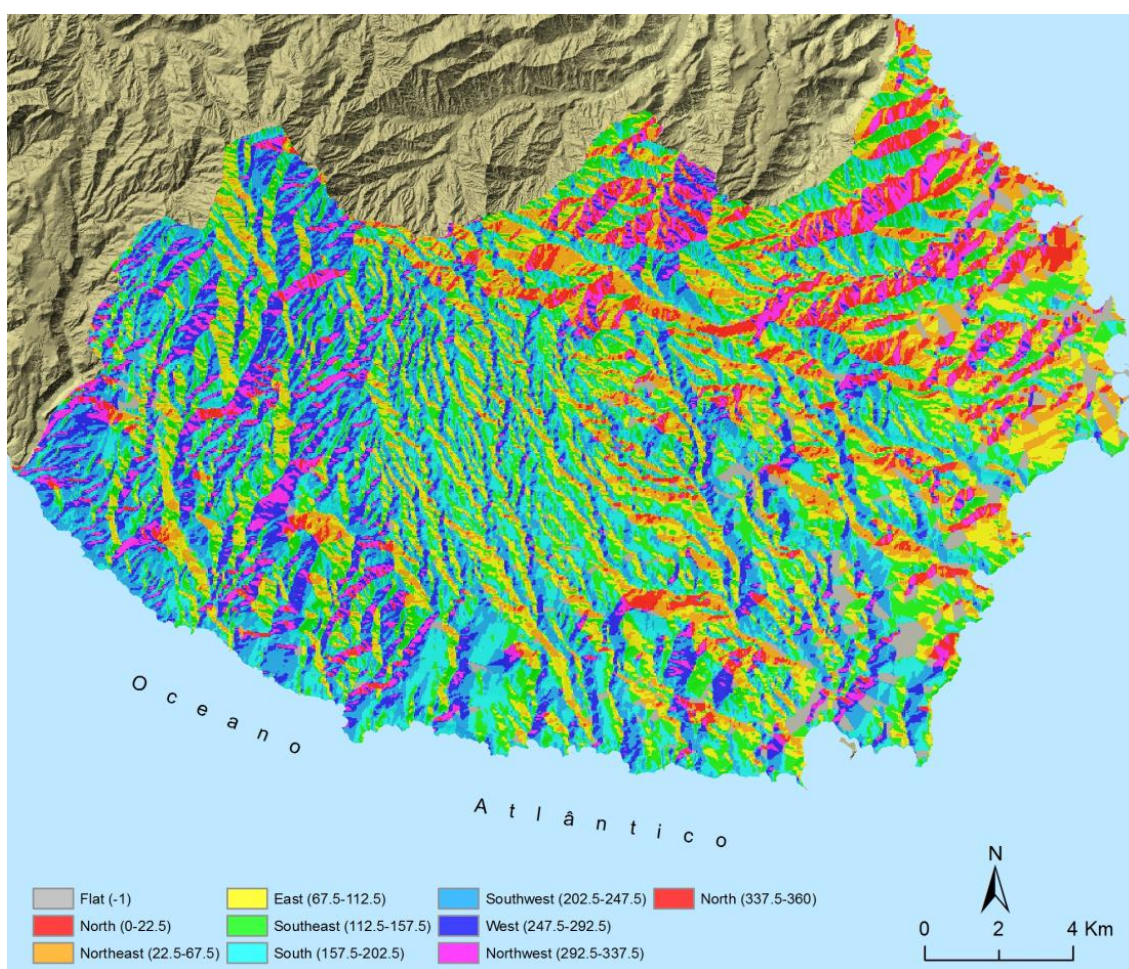


Figura 37 - Orientação das vertentes

A agregação da carta de declives e a orientação das vertentes, através *Weighted Overlay* com base nos pesos, resultou o nível de aptidão da morfologia da área de estudo (figura 38).

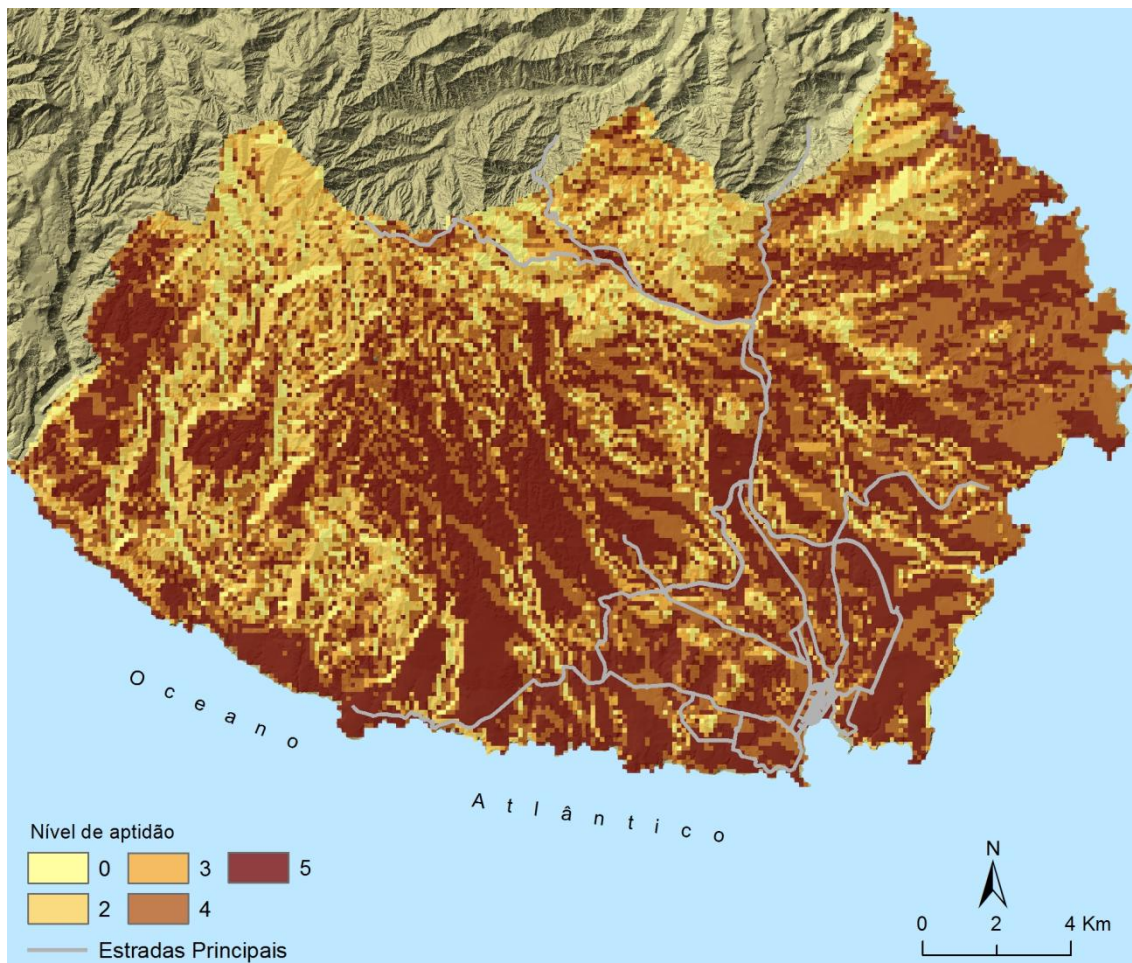


Figura 38 - Análise da morfologia por nível de aptidão

4.3.4 Acessibilidade

Este critério está associado ao custo uma vez que, quanto mais próximo estiver o aterro das estradas principais e do centro da produção do RSU, menor será o custo associado à sua construção e ao transporte dos RSU

a) Estradas principais

Em relação à acessibilidade, é economicamente viável a localização de um aterro próximo de estradas principais, uma vez que reduz o custo relativo ao transporte dos RSU e o custo da construção de vias de acesso ao aterro (Afzali et. al, 2011).

Nesta investigação, tendo em consideração a legislação cabo-verdiana para as estradas principais, criou-se uma zona tampão (50 metros) para ambos os lados, considerando – os inadequados à localização do aterro, atribuindo-se por conseguinte a classificação 0 (tabela 24).

Tabela 24- Classificação das distâncias das estradas principais	
Distância das estradas principais	Valor da Classificação
< 50	0
1000 - 50	5
1000 – 2000	4
2000 – 3000	3
3000 – 4000	2
>4000	1

As áreas compreendidas entre 50 e 1000 metros de distância das estradas principais, foram consideradas as melhores para a concretização do objectivo proposto. À medida que se afasta das estradas a classificação diminui (figura 39).

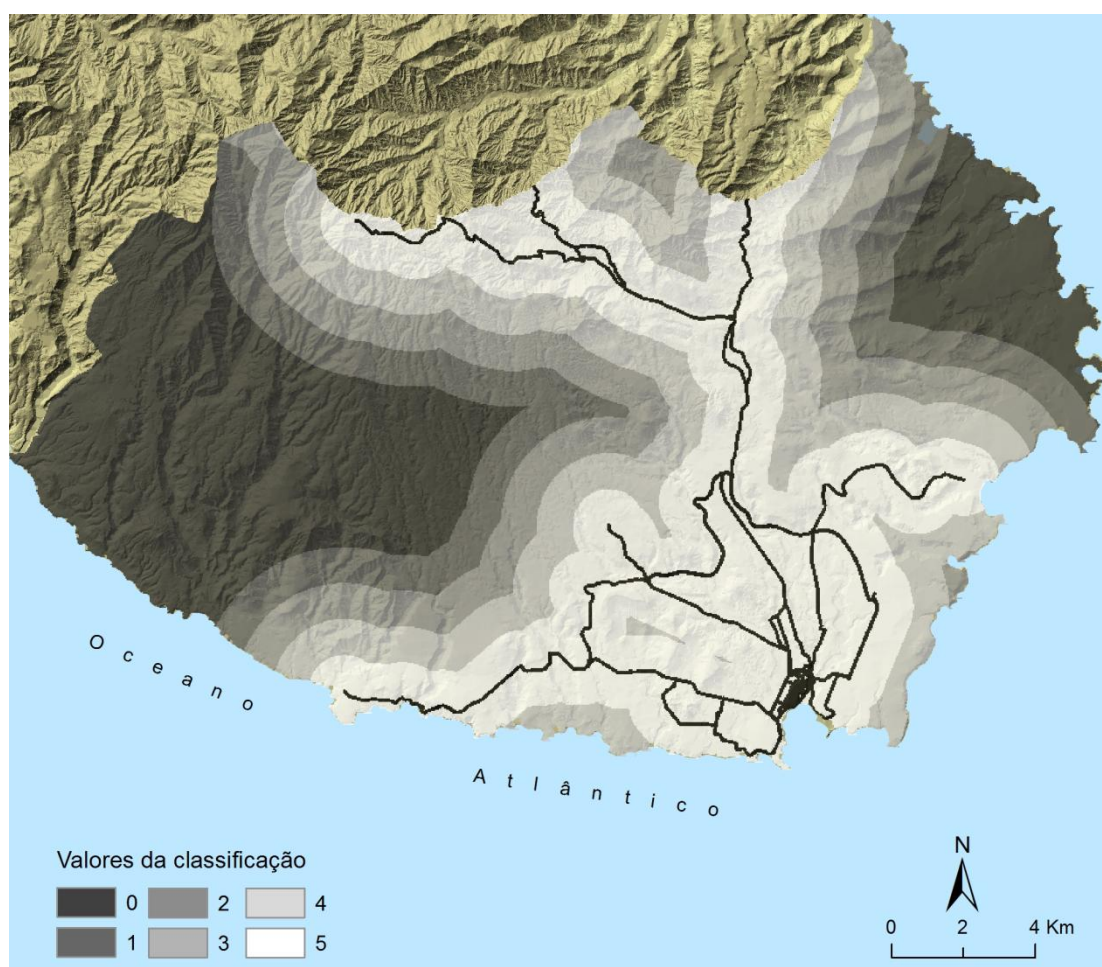


Figura 39 - Classificação das distâncias das Estradas principais

b) Centro da produção dos Resíduos sólidos urbanos

A densidade populacional, industrial, comercial, assim como, a quantidade de RSU produzidos diariamente foram os parâmetros utilizados para a delimitação do centro da produção dos RSU. Este centro corresponde com o limite urbano da Cidade da Praia. Segundo os dados do município, são produzidos diariamente cerca de 531 m³ de RSU (CMP, 2008), valores justificados pela forte concentração das principais actividades industriais, comerciais e densidade populacional esta urbe.

A localização de um aterro nas proximidades dos centros geradores de RSU constitui uma vantagem económica, pois, diminui o custo de transporte dos RSU (Gemtzi et. al, 2009). Atendendo a este pressuposto, considerou-se economicamente viável a localização do aterro entre os 500 e 2000 metros deste centro (tabela 25).

Tabela 25 - Classificação das distâncias do Centro da produção dos RSU

Distância do centro da produção dos RSU (em metros)	Valor da Classificação
< 500	0
500 - 2000	5
2000 - 2500	2
>4000	1

Entre os 2000 e 2500 metros de distância, a classificação atribuída foi 2 e foram consideradas inviáveis as áreas localizadas a mais de 4000 metros, deste mesmo centro (figura 40).

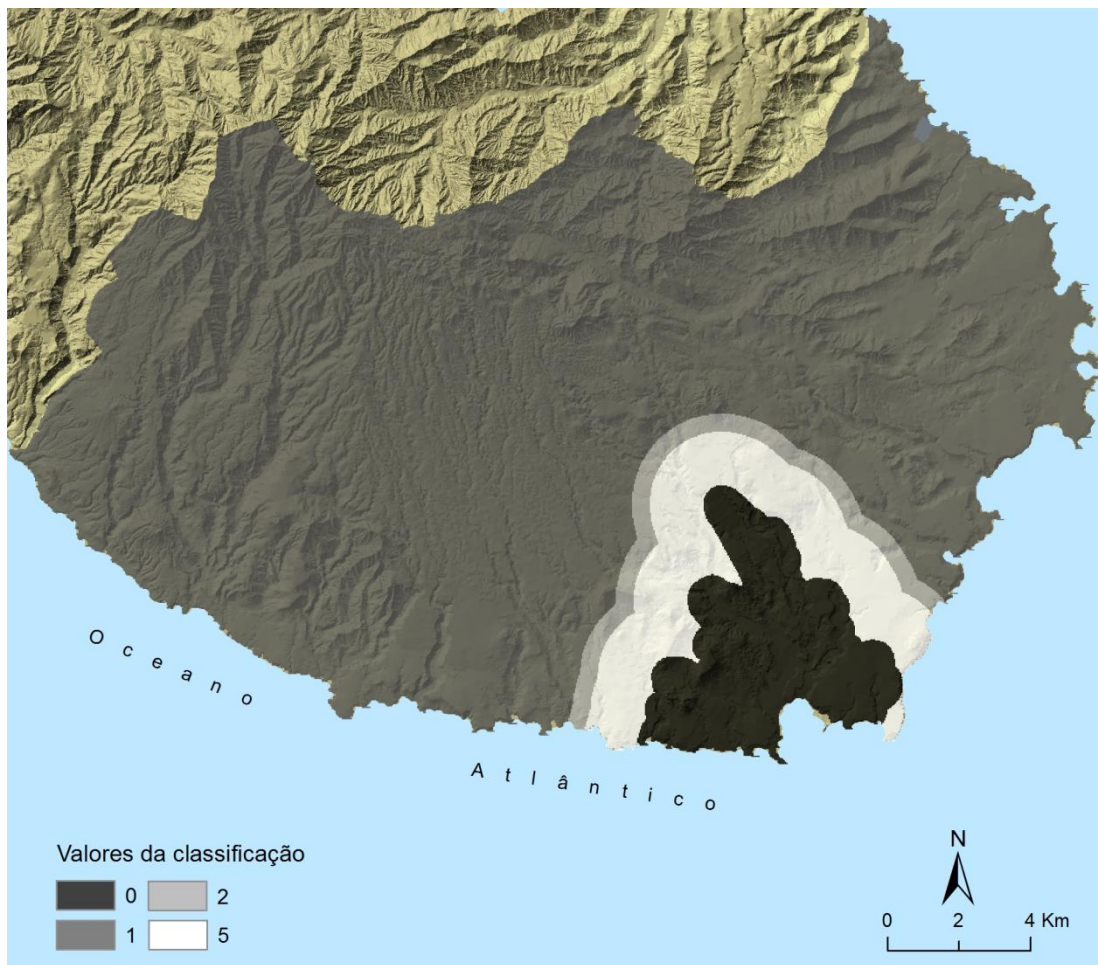


Figura 40 - Classificação das distâncias do centro da produção dos RSU

A agregação da distância das estradas principais e do centro de produção dos resíduos sólidos urbanos, através do *Weighted Overlay*, com base no peso, gerou o nível de aptidão da acessibilidade (figura 41).

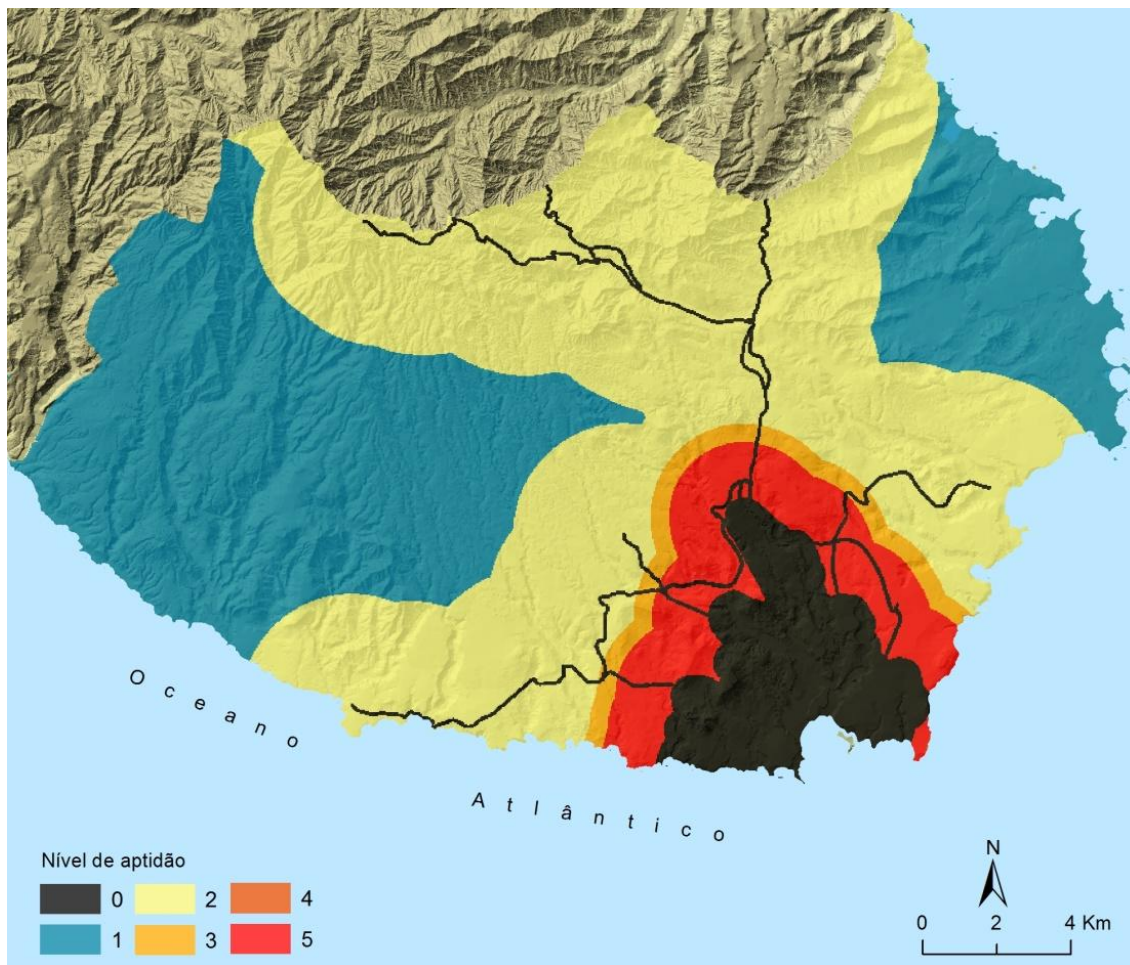


Figura 41 - Análise da acessibilidade por nível de aptidão

4.3.5 Agregação final dos critérios

Após a normalização de todos os factores a uma escala comum (0 a 5) e a atribuição dos seus respectivos pesos, obteve-se quatro cartas de aptidão intermédia da área de estudo (cf figura 31, 35, 38 e 41). A aptidão final resultou da sobreposição dessas cartas, através do procedimento *Weighted Overlay*, com base nos pesos atribuídos aos critérios do 2º nível (figura 42).

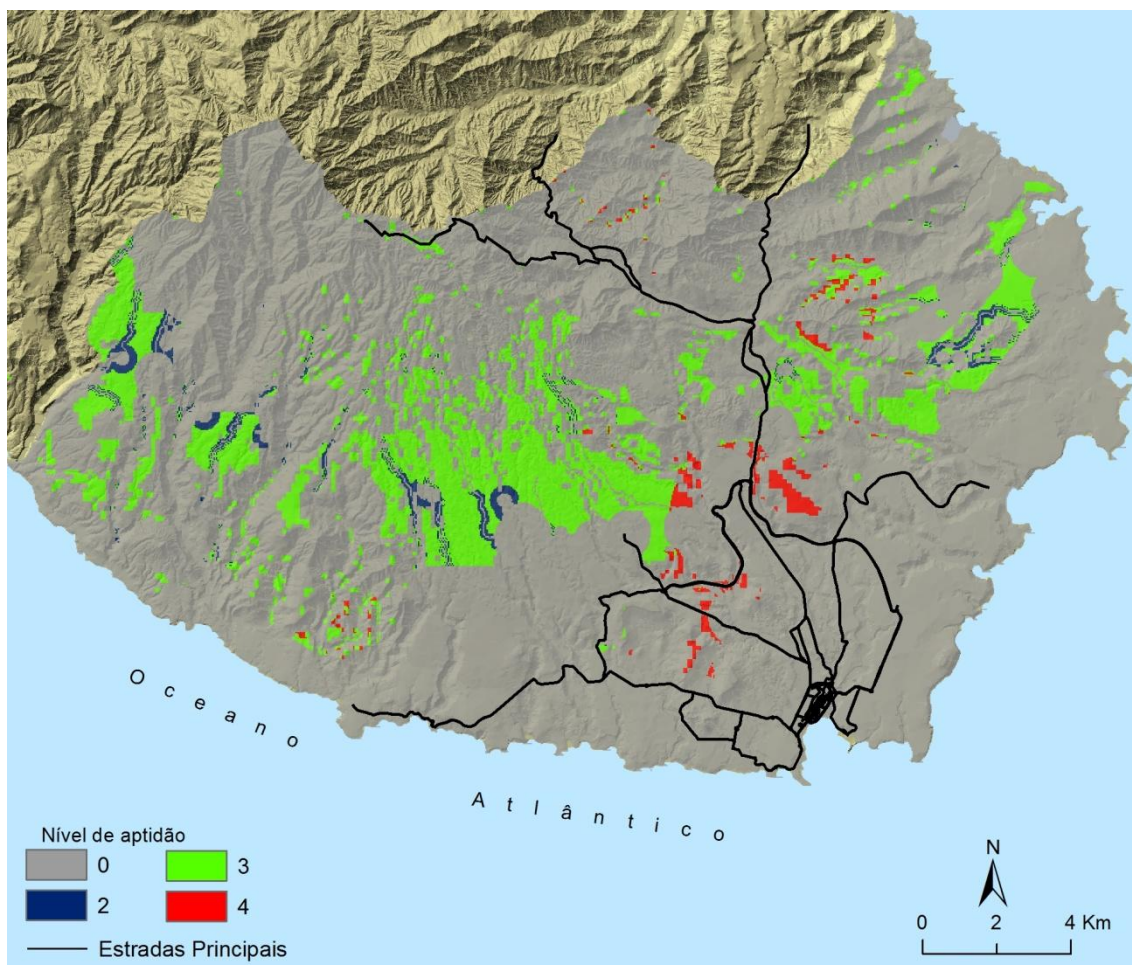


Figura 42- Agregação dos critérios por atribuição de pesos

Os resultados finais da aptidão foram classificados em quatro categorias: Nula, baixa, média e alta, como ilustra a figura 43.

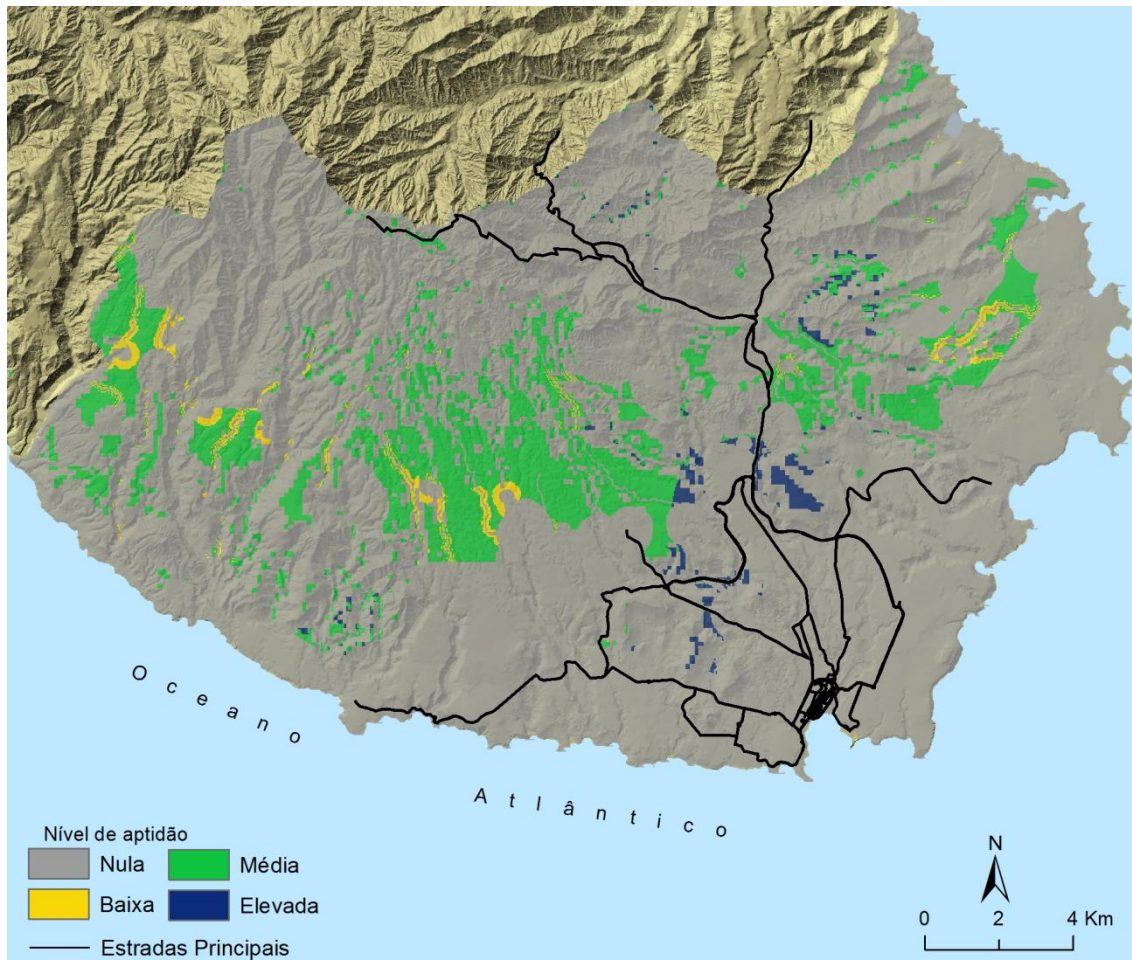


Figura 43- Aptidão final da área de estudo

5. Cálculo da área necessária para o aterro sanitário

O tamanho do aterro sanitário depende de um conjunto de factores nomeadamente: horizonte do projecto (vida útil do aterro), universo da população a servir, produção de resíduos, volume de resíduos, plano de aproveitamento do terreno e área necessária para deposição dos RSU (Levy & Cabeças, 2006).

Para obter a área necessária para o aterro sanitário, os dados considerados foram: média per capita da produção dos RSU, população total, vida útil do aterro, taxa de crescimento anual da população e peso específicos dos RSU.

A média per capita da produção dos RSU em Cabo Verde é de 0,6 Kg/hab/dia (MAAP,2003). Para a área de estudo, tendo em consideração a população total (153852 habitantes), estima-se que a quantidade de RSU produzidos em 15 anos⁸ será 684584 toneladas⁹, assumindo uma taxa de crescimento populacional de 1.1% por ano (INE, 2010) e uma produção per capita constante durante esse período (Kontos et. al, 2005; Gemitzi et. al, 2006; Guiqin et. al, 2009).

O volume ocupado pelos RSU no aterro é realizado, dividindo a produção dos RSU calculado anteriormente pelo peso específico dos RSU (0,800 tonelada/m³), após a compactação em aterro sanitário (Levy & Cabeças, 2006; Avaliotis et al, 2004;). Ao resultado, é adicionado o volume das terras de cobertura necessárias a colocar diariamente sobre os RSU¹⁰. Deste modo, estima-se que o volume global dos RSU (resíduos e terras de cobertura) acumulado durante 15 anos, na região Sul da ilha de Santiago, será 909888,1toneladas.

Segundo Levy et Cabeças, (2006:178) “sendo V_g , volume global e H , altura razoável, a área necessária para o aterro será”:

$$\text{Área} = V_g/H$$

Para uma escavação de 8 metros¹¹ de altura, a área mínima do aterro será 113736 m² (cerca de 11,4 hectares). A este valor serão adicionados mais 2,5 hectares correspondente às restantes infraestruturas que compõem o aterro, nomeadamente as instalações de apoio e cortina arbórea, vias de circulação interna e sistemas de tratamento de efluentes (Levy & Cabeças, 2006).

Adicionando as áreas complementares do aterro, a área mínima para implantação do aterro sanitário na região Sul da ilha de Santiago será de cerca de 13,9 hectares.

Por último, nas áreas com aptidão elevada (figura 44), fez-se uma selecção, em função da dimensão da área necessária calculada anteriormente, aceitando apenas áreas com igual ou superior 13,9 hectares.

⁸ “ Em termos de um aterro sanitário, o horizonte de projecto que técnico-economicamente se considera mais ajustado e viável, situa-se entre 12 e 15 anos” (Levy & Cabeças, 2006, p. 174)

⁹ “A produção diária é obtida através do produto da população pela captação de resíduos, resultando a produção anual da sua multiplicação pelos 365 dias do ano”(Levy & Cabeças,2006. P. 175)

¹⁰ “ O volume das terras de cobertura é equivalente a 15 % do volume anual dos RSU “ (Levy & Cabeças, 2006, p. 176)

¹¹ A adopção de 8 metros de altura foi com base nos estudos de Tchobanoglous et al, 1993

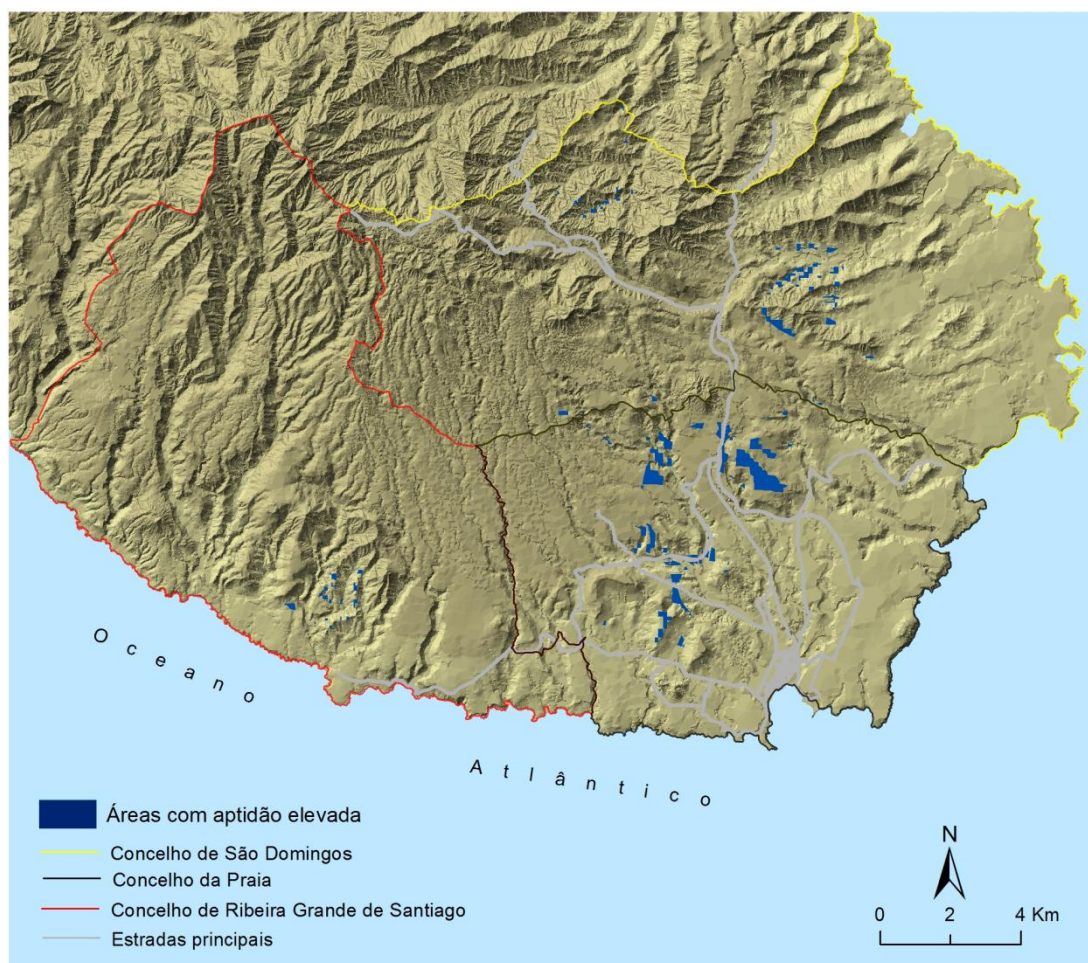


Figura 44 - Áreas com aptidão elevada

Dessa selecção, resultaram três locais óptimos para a localização do aterro sanitário. Estes têm área mínima estabelecida no presente trabalho que engloba a área do aterro mais a destinada às restantes infraestruturas que compõem o aterro (figura 45).

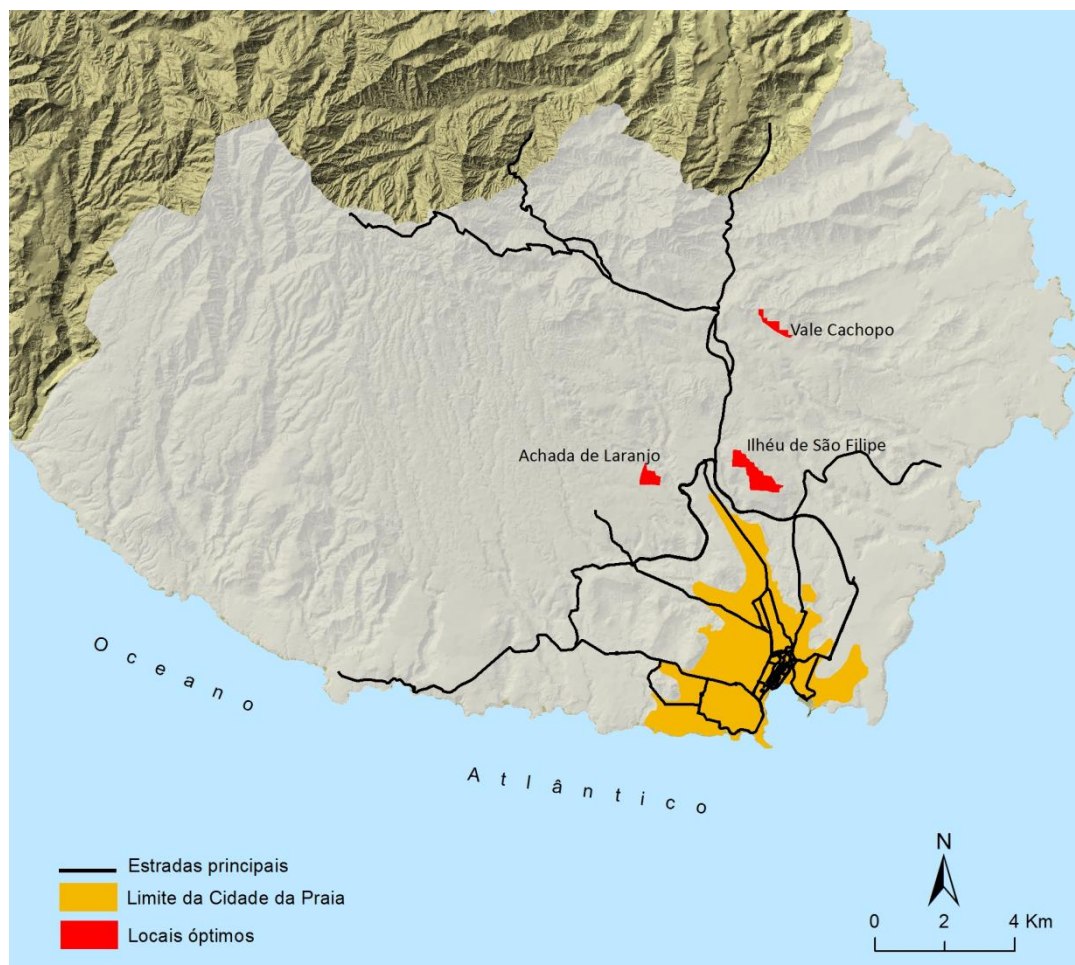


Figura 45 - Áreas com melhor aptidão para localizar o aterro sanitário na região Sul da ilha de Santiago

6. Resultados e discussão

Neste estudo, a partir da combinação da análise multicritério e AHP, em ambiente SIG, foram analisados vários critérios e subcritérios de natureza geo-espacial distintos, com o intuito de avaliar a aptidão da região Sul da ilha de Santiago para a implantação de um aterro sanitário.

O nível de aptidão da área de estudo resultou da sobreposição dos critérios ilustrados nas figuras 31, 35, 38 e 41 e os seus respectivos pesos, conforme apresentados na tabela 11. A figura 43 ilustra o mapa de aptidão final da área de estudo, segundo os critérios estabelecidos *a priori* (tabela 17). Os valores dos *pixels* variam de 0 (nula aptidão) a 4 (elevada aptidão), resultante da análise multicritério e da análise ponderada, através do AHP.

As superfícies, cujos valores variam entre 0 e 3, foram consideradas inadequadas para a localização do aterro sanitário. As áreas com valores de 0 correspondem às restrições legais estabelecidas nos PDM dos concelhos que integram a área de estudo, bem como a legislação Cabo-verdiana e a da União Europeia e respeita a servidão ao aeroporto e às áreas com declive acentuado (superior a 20°). As áreas com valores 2 e 3, apesar de terem alguma aptidão, foram consideradas insuficientes para o efeito que se propõe, uma vez que existem outras áreas com aptidão elevadas (cf figura 42).

A área com aptidão nula corresponde a 86.3% da área de estudo, o que evidencia uma escassez de terra disponível para a construção do aterro sanitário e a subsequente dificuldade em identificar os locais com potenciais para a implantação do mesmo, enquanto que, as áreas com aptidão baixa, média e elevada correspondem a 0.99%, 11.8% e 0.85%, respectivamente (tabela 26).

Tabela 26 - Análise da aptidão da área de estudo

Nível de aptidão	Valores	Áreas em km ²	%
Nula	0	341,1	86.3
Baixa	2	3,9	0.99
Média	3	46,7	11.8
Elevada	4	3,4	0.85

O concelho da Praia apesar da pequena dimensão territorial em relação aos demais concelhos que integram a Região Sul da ilha de Santiago, possui mais áreas com aptidão elevadas enquanto que, o concelho de Ribeira Grande de Santiago é o que concentra menos áreas com aptidão elevada (figura 44), o que demonstra a influência da acessibilidade no resultado final da análise (figura 38).

Na última fase da análise, o cálculo da área necessária para o AS, foi extremamente importante para a determinação dos três locais ótimos (figura 45). As restantes áreas, apesar de terem nível de aptidão elevadas, não foram consideradas porque possuem superfícies com tamanhos inferiores a 13,9 ha.

Os locais 1 e 2 localizam-se no concelho da Praia. Na parte Norte da Cidade da Praia, na localidade de ilhéu São Filipe e de Achada Laranjo, respectivamente. O local 3 situa-se no concelho de São Domingos, na localidade de Vale Cachopo (Ribeirão Chiqueiro), como ilustra a figura 45.

O local 1 e 2 apresentam melhores condições para a localização do aterro sanitário, uma vez que, para além da maior disponibilidade em área (cf tabela 27), estão a escassos quilómetros do limite da cidade da Praia (principal fonte de produção dos RSU) e próximos da Circular da Praia, anel rodoviário que liga os três concelhos em estudo, o que os tornam o local bastante acessível (figura 45).

Tabela 27 - Áreas dos locais óptimos para a implantação do aterro sanitário

Local	Áreas em ha
1	66,7
2	22,9
3	17,1

Considerações Finais

O trabalho é demonstrativo da relevância dos Sistemas de Informação Geográfica na gestão do território por via da utilização de métodos de apoio à decisão. Porque a decisão raramente se apoia num único critério, demonstrou-se a utilidade de recorrer a múltiplas variáveis e dimensões por forma a criar alternativas de escolha viável pelos decisores políticos.

1. *Sobre o modelo em SIG*

O modelo de localização foi aplicado à região Sul da ilha de Santiago com o objectivo de identificar os locais óptimos para a localização de um aterro sanitário. O problema foi estruturado em quatro níveis de análise (cf figura 3). Nos níveis superiores (primeiro e segundo níveis) as sobreposições foram feitas com o procedimento do *Weighted Overlay*, em função do peso de cada critério.

O método AHP foi utilizado para hierarquizar o problema, definir as ponderações ou os pesos a atribuir aos critérios de avaliação e, ao mesmo tempo, avaliar a consistência dessa atribuição, enquanto que, a análise multicritério permitiu avaliar a aptidão da área de estudo. A combinação destas duas metodologias, em ambiente SIG, permitiu identificar três locais óptimos e disponíveis para localizar o aterro sanitário na região Sul da ilha de Santiago.

A utilização do modelbuilder do ArGIS 10 constituiu uma mais-valia no processo da análise espacial, uma vez que permitiu modelar a informação geográfica e experimentar soluções com base nos pesos atribuídos.

Nesta investigação a capacidade dos SIG ficou amplamente comprovada, como uma técnica de apoio a tomada de decisão, relativamente a problema de localização, a partir da modelação dos dados espaciais e análises espaciais.

Relativamente, à futuros projectos relacionado com a identificação de áreas óptimas para a localização de aterros sanitários na ilha de Santiago e/ou nas outras regiões do país, este estudo poderá servir de base, embora tendo que ficar sujeito às características regionais, como por exemplo a temperatura, índice de pluviosidade, profundidade de lençóis freáticos, entre outros. Essa possibilidade realça a aplicabilidade e a utilidade científica do modelo apresentado.

Em relação ao aterro sanitário uma análise complementar poderá ser realizada a partir da extensão network analyst do ArcGIS 10, para criar uma *service area* do aterro e otimizar as rotas de recolha dos RSU para o AS a partir de diferentes pontos dos concelhos que integram a área de estudo.

2. Sobre a relevância da localização otimizada para deposição de resíduos sólidos urbanos

No futuro, aliado aos resultados da análise multicritério em SIG obtidos nesta investigação, será importante encontrar uma solução de compromisso que tenha em conta os aspectos sociológicos e políticos, com vista a prevenir o efeito *NIMBY* (*Not in my Back Yard*). Esse consenso poderá ser conseguido através de campanhas de sensibilização junto da população que venha a ser servida por esta infraestrutura e promoção de educação ambiental nos estabelecimentos de ensino((Levy & Cabeças, 2006).

Do ponto de vista da gestão do território a localização de áreas óptimas para deposição de RSU é decisiva. Decisiva porque se trata de uma questão ambiental mas também porque se trata de otimizar uma localização que pode ter implicações na valorização de terrenos e no planeamento da expansão urbana.

Uma infraestrutura deste tipo condiciona a utilização do solo na sua envolvência. Considerando as condições fisiográficas que condicionam, elas próprias, a expansão urbana (fortes declives, etc.), bem como o crescimento demográfico projectado (população muito jovem e fortes migrações internas para as cidades), é de acautelar a localização de AS mesmo que num contexto de grande incerteza o que respeita ao desenvolvimento económico da região e da cidade da Praia em particular.

Se as projecções demográficas se vierem a confirmar assim como os outros parâmetros utilizados no cálculo da área necessária à instalação do AS, então terá que se discutir o impacte que AS terá em termos de valorização urbana e consequentemente, no que se implica em matéria de planeamento da expansão da cidade.

Referências bibliográficas

▪ Livros, Artigos e revistas

- Al-Jarrah, O., Abu-Qdais, H. (2006). “Municipal solid waste landfill siting using intelligent system”. **Waste Management** 26, pp. 299-306.
- Amaral, I. (1964). *Santiago de Cabo Verde: A Terra e os Homens*. Junta de Investigação do Ultramar, 48, 2ª série. Lisboa
- Afzali, A. (2011). “Site selection for municipal landfill city by Isfahan. Use of fuzzy logic and AHP”. **Journal Environmental Health** 3, pp. 273-284.
- Babalola, A. et al. (2011). “Selection of Landfill Sites for Solid Waste Treatment in Damaturu Town-Using GIS Techniques”. **Journal of Environmental Protection** 2, pp. 2-10
- Barros, A., Monteiro, C., Andrade, F., Pereira, I., & Lima, M. (2007). *Diagnóstico do sector de água e saneamento em Cabo Verde*. Cabo Verde.
- BAV Portugal Tecnologia Ambiental Lda (1998). *Tratamento de Resíduos por Sistema ECOTRICOM*. Cabo Verde
- Chang, N.-B., Parvathinathan, G., Breeden, J.B. (2008). “Combining GIS with fuzzy multicritério decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region”. **Journal of Environmental Management** 87, pp. 139–153.
- Charnpratheep, K., Zhou, Q., Garner, B. (1997). “Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems”. **Waste Management and Research** 15, pp. 197–215.
- Correia, A. F. (2011). *A Gestão do Território Municipal em Cabo Verde: O caso de Santa Catarina de Santiago*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, pelo Departamento de Geografia e Planeamento Regional da FCSH, da Universidade de Nova de Lisboa.
- Cosme, António (2012). *Projecto em Sistemas de Informação Geográfica*. Colecção Geomática, Lidel Edições Técnicas Lda, Lisboa;

- Costa, C.M.P. (2010). *Localização óptima do futuro hospital de Sintra- Aplicação de Modelos de Location-Allocation no Planeamento de Cuidados de Saúde*. Dissertação de Mestrado em Ciências e Sistemas de Informação Geográfica, da Universidade de Nova de Lisboa.
- Easton, A. (1973). *Complex managerial decision involving multiple objectives*. New York
- Farinha, A. M. R. , Barata, E. J. G. (1993). *A Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos na Região centro*. Estudos Sectoriais, Coimbra, Comissão de Coordenação da Região Centro;
- Fernandes, L. O. (2006). *O processo decisório da localização de um aterro de RSU: o caso de Sermonde*. Dissertação do Mestrado em Gestão e Políticas de Ambiente, Universidade de Aveiro. Portugal
- Freire, M., Henriques, R., Carrão, H., Paiva, A., (2001). “Projecto Landfill, Concepção e Desenvolvimento de uma Aplicação SIG para a localização de uma Aterro Sanitário”. Departamento de Planeamento Biofísico e Paisagístico, Universidade de Evora. Portugal
- Gemitzi, A., Tsihrintzis, V.A., Voudrias, E., Petalas, Ch., Stravodimos, G., (2006). “Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills”. **Environmental Geology** 51, pp. 797–811.
- Gomes, A. M (2007). *Hidrogeologia e Recursos Hídricos da ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Tese de Doutoramento apresentado ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. Portugal
- Gonçalves, A. (2007) *Modelação Geográfica de Problemas de Localização*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia do Território, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
- Guiqin, W., et al., (2009). “Landfill site selection using special information technologies and AHP: A case study in Beijing, China” **Journal of Environmental Management** 90, pp. 2414-2421
- Henrique, D. C. (2008). *Maputo 5 décadas de mudança territorial. O uso do solo observado por tecnologia de informação geográfica*. Cooperação portuguesa, IPAD

- Higgs, G. (2006). “Integrating multi-criteria techniques with geographical information systems in waste facility location to enhance public participation”. **Waste Management & Research** 24, pp. 105–117.
- Hussin, W.M.A.W., et al., (2010). “Modeling Landfill Suitability based on multi-criteria decision marking method. **Interdisciplinary Themes Journal** 2.1
- Ishizaka, K., Tanaka, M. (2003). “Resolving public conflict in site selection process-risk communication approach”. **Waste Manage** 23, pp. 385-396.
- Javaheri, H., et al. (2006). “Site Selection of municipal Solid Waste Landfills Using Analytical Hierarchical Process Method in a Geographical Information Technology Environmental in Girona”. Iran **Journal of Environmental Health Science Engineering** 3, pp. 177-184
- Jugurta Lisboa Filho, J. & Iochpe, C. (2001) “Modelagem de Bancos de Dados Geográficos” XX congresso brasileiro de Cartografia, Porto Alegre Brasil.
- Julião, R. P. (1997) - *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*. Instituto de Formação de Quadros.
- Kao, J.J., Lin, H.Y. (1996). “Multifactor spatial analysis for landfill siting”. **Journal of Environmental Engineering** 122, pp. 902-908.
- Kao, J.J., Lin, H.J., Chen, W.Y. (1997). “Network geographic information system for landfill siting”. **Waste Manage. Res.** 15, pp. 239-253.
- Kontos, T.D., Komilis, D.P., Halvadakis, C.P. (2005). “Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology”. **Waste Management** 25, pp. 818–832.
- Ishizaka, K., Tanaka, M., (2003). “Resolving public conflict in site selection process-risk communication approach”. **Waste Manage.** 23, pp. 385-396.
- Levy, J. d., & Cabeças, A. J. (2006). *Resíduo Sólidos Urbanos - Princípios e Processos*. Lisboa: Associação das Empresas Portuguesa para o Sector do Ambiente.
- Lima, R. S. (2003) *Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e da saúde sob a ótica dos transportes*” Tese Doutorado em Engenharia Civil. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. Brasil

- Lorena, L.; Senne, E.; Paiva, J.; Pereira, M. (2001). “Integração de modelos de localização a Sistemas de Informações Geográficas”. *Gestão e Produção*, 8 (2), 180-195.
- Malczewski, J., (1999). *Spatial multicriteria decision analysis*. In: Thill, J.C. (Ed.), *Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis*. Ashgate Publishing, Hampshire.
- Matos, J. (2008). *Fundamentos de Informação Geográfica*. 5ª Edição Actualizada e Aumentada, Coleção Geomática, Lidel Edições Técnicas Lda, Lisboa;
- Moreira, F. et al., (2004). “Integração e Análise Espacial de Dados em Pesquisa Mineral. INPE”. São Paulo, Brasil.
- Osgood, C.E. ; Suci, G. J. ; Tannenbaum, P.H (1957). *The Measurement of Meaning Urbana*: University of Illinois Press.
- Ramos, R. A. (2000). *Localização Industrial. um modelo espacial para o nordeste de Portugal*. Tese de Doutoramento. Braga: Universidade do Minho, Escola de engenharia.
- Russo, M. A. T. (2003). *Tratamento dos Resíduos Sólidos*. Universidade de Coimbra Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento de engenharia civil
- Saaty, T. L., (1977). “A scaling method for priorities in hierarchical structures. J. Math. Psycho”. Vol. 15: pp. 234-281.
- Saaty, T., (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Saaty, T.L., (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburg, USA.
- Saaty, T.L. (2008) ‘Decision making with the analytic hierarchy process’, *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp.83–98.
- Sener, B., Süzen, M.L., Doyuran, V., (2006). “Landfill site selection by using geographical information systems”. **Environmental Geology** 49, pp. 376–388.
- Sener, S., et al., (2011). “ Selection of Landfill Site GIS and Multicriteria Decision Analysis for Beysehir Lake Catchment area – Konya, Turkey”. **Journal of Engineering Science and Design**, Vol: 1, nº 3, pp.134-144.

- Serraleiro, A. et al., (1979). “Estudo Geológico, petrológico e vulcanológico da ilha de Santiago, Cabo Verde”. Garcia de Orta, série Geológica, nº3, pp.47-74. Lisboa
- Silva, A.R.E. (2009). *Optimização da recolha de resíduos urbanos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, pelo Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro
- Siddiqui, M.Z., Everett, J.W., Vieux, B.E. (1996). "Landfill siting using geographic information systems: a demonstration". **Journal of Environmental Engineering** 122, 515–523.
- Sousa, J. (2005). *Sistema de Informação Geográfica com o Autodesk Map 3D*. Lisboa: FCA- Editora de Informática.
- Sumathi, V.R., Natesan, U. and Sarkar, Ch. (2008). “GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill, **Waste Management**, 28 (11), pp. 2146-2160.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., Carvalho, M.G., (2009). “Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption with 3D GIS modeling”. **Waste Management** 29, pp.1176–1185.
- Tavares, G. (2010). *Integration of waste-to-energy incineration in the municipal solid waste management system of Santiago Island: planning, process control and complementary activities*, Ph.D. Thesis. Mechanical Engineering Department, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon.
- Tayyebi, A. H. (2010). “Combining multi criteria decision and Dempster Shafer Theory for landfill site selection. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, part 8, Kyoto Japan
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil. S. (1993). “Integrated solid waste management, Engineering Principles and Management Issues, 4th ed., Irwin/McGraw Hill, Inc., New York, USA.
- Thoso, M. (2008). *The Construction of a Geographic Information Systems Model for Landfill Site Selection*. Department of Geography, University of the Free State. Bloemfontein.

Tomilin, C.,(1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*. Ed. Prentice Hall.

Valentine, E., (1997). “Environmental impact assessment in the site selection process: a case study”. In Sixth International Landfill Congress, Sardinia, Italy, pp. 223–231.

Voogd, H. (1983). *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London: Pion Ltd.

Yahaya, S., et al., (2010). “Landfill Site Selection for Municipal Solid Waste Mangement using Geographic Information System and Multicriteria Evaluation. **American Journal of Scientific Research** 10, pp. 34-49

▪ **Legislação consultada**

Decreto-Lei nº 86/IV/93, de 16 de Junho - Define as bases Política do Ambiente: Boletim Oficial da República de Cabo Verde, nº27, I Série. Praia

Decreto-Lei nº 96/IV/93, de 31 de Dezembro - Cria o concelho de São Domingos: B.O da República de Cabo Verde nº49, I Serie. Praia

Decreto-Regulamentar nº 7/94, de 23 de Maio de 1994 - Declara Zona de Desenvolvimento Turístico Integral: B.O da República de Cabo Verde nº20, I Serie. Praia

Decreto-Legislativo nº 14/97, de 1 de Junho – Desenvolve normas regulamentares de situações previstas na Lei de Base da Política de Ambiente contra todas as formas de degradação: B.O da República de Cabo Verde nº25, I Serie. Praia.

Decreto-Lei nº 3/2003, de 24 de Fevereiro – Estabelece o Regime Jurídico das áreas protegidas

Decreto-Lei nº 31/2003, de 1 Setembro – Estabelece os requisitos essenciais a considerar na eliminação dos RSU: B.O da República de Cabo Verde nº28, I Serie. Praia

Lei nº 44/VI/2004, de 12 de Julho – Define e estabelece o regime dos bens do domínio marítimo do Estado: B.O da República de Cabo Verde nº20, I Serie. Praia

Decreto-Lei nº 63/VI/2005, de 9 de Maio de 2005 – Cria o Município da Ribeira Grande de Santiago: B.O da República de Cabo Verde nº19, I Serie. Praia

Decreto-Legislativo nº1/2006, de 13 de Fevereiro – Aprova as Bases do Ordenamento do Território e Planeamento Urbanístico: Boletim Oficial da República de Cabo Verde nº 7, I Serie. Praia.

Decreto-Legislativo nº 2/2007 de 19 de Julho - Princípios e Normas de Utilização dos Solos: B.O da República de Cabo Verde nº 26, I Serie- Suplemento. Praia.

Decreto-Legislativo nº6/2010, de 21 de Junho- Altera o Decreto-Legislativo nº 1/2006 de 13 de Fevereiro que estabelece as Bases do Ordenamento do Território e Planeamento Urbanístico: B.O da República de Cabo Verde nº23 – I Série. Praia.

Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de Agosto. Diário da Republica, Portugal nº153-I Série

Directiva 99/31/CE – Conselho Europeu de 26 de Abril – Disposição do Resíduos em aterros.

Directiva 2008/98/CE – União Europeia

Programa do Governo de Cabo Verde da VII Legislatura 2006-2011.

Resolução nº 55/2010 de 19 de Outubro de 2010 – Aprova Esquema Regional de Ordenamento do Território da ilha de Santiago: B.O da República de Cabo Verde nº 40, I Serie- Suplemento. Praia.

Resolução nº5/2009, de 16 de Março de 2009 – Delimita a zona do sítio histórico da Cidade Velha e a sua zona tampão: B.O da República de Cabo Verde nº11, I Serie. Praia

▪ **Instituições**

Caixa Geral de Depósito SGE Mediateca, (2007). Cabo Verde. Dez ilhas, um país, cinco continentes. 1º Edição. Lisboa

Câmara Municipal da Praia, (1998). Esquema Estrutura do Plano Director Municipal, vol.I, Publicação CMP. Praia

CMP, (1998). Esquema Estrutura do Plano Director Municipal, anexos técnicos, Publicação CMP. Praia

CMP, (2008). Proposta Plano Director Municipal da Praia, relatório e regulamento, Publicação Câmara Municipal da Praia. Praia

CMP, (2012). Anteprojecto do Plano Director Municipal- 1ª versão. Praia

Câmara Municipal da Ribeira Grande Santiago (2011). Plano Director Municipal. Ribeira Grande Santiago;

Câmara Municipal de São Domingos, (2004). Plano Ambiental Municipal. São Domingos

CMSD, (2007). Plano Director Municipal. São Domingos;

Direcção-Geral do Ambiente (1994) – *Estudo de Caracterização de Locais para Aterros Controlados* – Estudos Complementares relacionados com o Sistema Centralizado de Gestão de Resíduos, Estudo n.º 1542, Lisboa, Direcção-Geral do Ambiente

INE-CV, (1990). Censo Geral da População e Habitação 1990, Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde. Praia

INE-CV, (2001). Censo Geral da População e Habitação 2000, Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde. Praia

INE-CV, (2007). QUIBB (Questionário Unificado de Indicadores Básicos de Bem estar). Praia.

INE-CV, (2011). Censo Geral da População e Habitação 2010, Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde. Praia

Instituto dos Resíduos (1996) – *Confinamento de Resíduos Sólidos Urbanos em Aterros Sanitários*. Processo de Autorização de Projectos, Lisboa, Instituto dos Resíduos.

Instituto Nacional da Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde – Delegação da Praia(2006).Parâmetro : Direcção do Vento Média Diária (0). Praia

ONU (1992). Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, Rio de Janeiro. Brasil

Ministério de Agricultura e Pesca/Direcção Geral de Ambiente, (2002). Plano de Acção Nacional para o Ambiente-PANA

MAAP,(2003). “Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos”. Praia, Cabo Verde

MAAP, (2004). *Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde*. Praia-Cabo Verde: Direcção Geral do Ambiente.

MAAP, (2004). Segundo Plano de Acção Nacional para o Ambiente-PANA II. Praia, Cabo Verde.

Ministério de Descentralização, Habitação e Ordenamento do Território(2010). Esquema Regional de Ordenamento do Território da ilha de Santiago. (Resolução nº 55/2010). Praia.

Ministério das Finanças e do Planeamento, (2002). Plano Nacional de Gestão de Resíduos/Sistema de Gestão Ambiental .

Ministério da Infra-estrutura e Transporte e Hidurbe-Gestão de Resíduos S.A, (1999). Concepção, Construção e Exploração do Sistema Integrado de Resíduos da ilha de Santiago, Volume I e II, Aterro Sanitário.

PERSU (1999) - Plano Estratégico Sectorial de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos.Lisboa, Instituto dos Resíduos.

QUERCUS, (1993) – A Situação dos Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal. Análise dos Conhecimentos. Proposta de um Estudo. Lisboa.

Web

http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/gisbrasil99/pesquisa_mineral/ , dia 10 de Março de 2012

http://www.iict.pt/actividades/213/iict213/iict213_04.htm, dia 11 de Abril de 2012

<http://www.sia.cv/images/stories/APbrochura.pdf>, dia 20 de Julho de 2012

Lista de Figuras

Figura 1 - Escala de sete pontos.....	8
Figura 2- Fases e procedimentos metodológicos	20
Figura 3- Estrutura hierárquica do modelo	22
Figura 4- Operações utilizada para a modelação de Acessibilidade	23
Figura 5 - Operações utilizada para a modelação do uso do solo	24
Figura 6 - Operações utilizada para a modelação da morfologia.....	25
Figura 7 - Operações utilizada para a modelação da hidrogeologia.....	26
Figura 8 - Modelo final.....	27
Figura 9 - Localização das ilhas de Cabo Verde.....	33
Figura 10 - Modo de evacuação dos Resíduos Sólidos em Cabo Verde	35
Figura 11- Evacuação dos resíduos sólidos em percentagem no meio rural e urbano no ano 2010	35
Figura 12 - Divisão administrativa dos municípios da ilha de Santiago	38
Figura 13 - Localização da Região Sul da ilha de Santiago	40
Figura 14 - Divisão administrativa da área de estudo	41
Figura 15 - Precipitação Mediana da ilha de Santiago	42
Figura 16 - Gráfico Termopluviométrico da região Sul da Ilha de Santiago	43
Figura 17 - Carta Geológica da região Sul da ilha de Santiago	45
Figura 18 – Classes de permeabilidade da formação hidrogeológica da Região Sul da Ilha de Santiago.....	46
Figura 19 - Evolução da população residente na região Sul da ilha de Santiago nos últimos 20 anos	47
Figura 20 - Pirâmide de etária da população da Região Sul da ilha de Santiago no ano 2010.....	49
Figura 21 - População empregada por sectores da actividade económica no ano 2000.....	50
Figura 22 - Repartição da população com mais de 4 anos de idade segundo o nível de instrução	51
Figura 23 - Formas de ocupação do uso do solo	57
Figura 24 - Classificação das distâncias do património cultural.....	58
Figura 25 - Classificação das distâncias das áreas protegidas	59
Figura 26 - Classificação das distâncias da ZDTI.....	60
Figura 27 - Classificação das distâncias das áreas agrícolas	61
Figura 28 - Classificação das distâncias das áreas edificadas.....	62
Figura 29 - Classificação das distâncias do aeroporto.....	63
Figura 30 - Classificação das distâncias da orla costeira.....	65
Figura 31 - Análise do uso do solo por níveis de aptidão.....	66
Figura 32 - Classificação das unidades hidrogeológicas por nível de permeabilidade ...	67
Figura 33 - Classificação das distâncias dos pontos de água.....	68
Figura 34 - Classificação das distâncias da ribeiras e eixos principais de água	70
Figura 35 - Análise da hidrogeologia por níveis de aptidão	71
Figura 36 - Classificação dos declives	72
Figura 37 - Orientação das vertentes	73
Figura 38 - Análise da morfologia por nível de aptidão.....	74
Figura 39 - Classificação das distâncias das Estradas principais	75
Figura 40 - Classificação das distâncias do centro da produção dos RSU	77
Figura 41 - Análise da acessibilidade por nível de aptidão	78
Figura 42- Agregação dos critérios por atribuição de pesos.....	79
Figura 43- Aptidão final da área de estudo.....	80
Figura 44 - Áreas com aptidão elevada	82
Figura 45 - Áreas com melhor aptidão para localizar o aterro sanitário na região Sul da ilha de Santiago.....	83

Lista de Tabelas

Tabela 1– Escala de comparação de critérios segundo Saaty	9
Tabela 2 - Índice de aleatoriedade (RI) para $n = 1, 2, \dots, 15$	10
Tabela 3 - Modos de Evacuação dos resíduos sólidos nos municípios da Região Sul da ilha de Santiago	36
Tabela 4 - Produção semanal de Resíduos sólidos.....	37
Tabela 5 – Concelhos que integram a área de estudo.....	39
Tabela 6- Evolução da população nos concelhos da Região Sul da ilha de Santiago (1990 -2010)	48
Tabela 7- Alojamento com ligação à rede pública da distribuição de água e distribuição da electricidade (em %)	51
Tabela 8- Sistemas de evacuação das águas residuais (em %)	51
Tabela 9 - Características técnicas das informações utilizadas no estudo.....	52
Tabela 10 - Escala de comparação de critérios	53
Tabela 11- Matriz de comparação par a par dos critérios do 2º nível	54
Tabela 12- Matriz de comparação par- a- par dos subcritérios do Uso do solo.....	54
Tabela 13- Matriz de comparação par -a- par dos subcritérios da Hidrogeologia	54
Tabela 14 - Matriz de comparação par a par das unidades Hidrogeológicas	55
Tabela 15- Matriz de comparação par a par da morfologia	55
Tabela 16- Matriz de comparação par a par dos subcritérios da Acessibilidade	55
Tabela 17 - Critérios utilizados no estudo.	56
Tabela 18- Valor da classificação dos atributos dos subcritérios do uso do solo	57
Tabela 19- Classificação das distâncias do aeroporto	63
Tabela 20 – Classificação das distâncias da orla costeira.....	64
Tabela 21- Classificação das distâncias dos pontos de água	69
Tabela 22- Classificação das distâncias das ribeiras e eixos principais de água	69
Tabela 23- Classificação dos declives	72
Tabela 24- Classificação das distâncias das estradas principais	75
Tabela 25 - Classificação das distâncias do Centro da produção dos RSU	76
Tabela 26 - Análise da aptidão da área de estudo	84
Tabela 27 - Áreas dos locais óptimos para a implantação do aterro sanitário	85

Anexo

Anexo 1: Ponderação dos critérios do 2º nível através da metodologia AHP

Etapa 1 – construção da matriz

	USO DO SOLO	HIDROGEOLOGIA/ HIDROLOGIA	MORFOLOGIA	ACESSIBILIDADE	PESO
USO DO SOLO	1	0,5	3	0,5	
Áreas edificadas					
ZDTI					
Área Cultural					
Áreas Agrícolas					
Áreas protegidas					
Aeroporto					
HIDROGEOLOGIA/HIDROLOGIA	2	1	3	2	
Geologia					
Reserva hídrica subterrânea					
Ribeiras e eixos principais de água)					
MORFOLOGIA	0,333	0,333	1	0,333	
Declive					
Orientação das vertentes					
ACESSIBILIDADE	2	0,5	3	1	
Vias					
Acesso aos centros de produção dos RSU					
Total	5,333	2,333	10	3,833	

Etapa 2 – cálculo do eigen vector principal

	USO DO SOLO	HIDROGEOLOGIA/ HIDROLOGIA	MORFOLOGIA	ACESSIBILIDADE	PESO
USO DO SOLO	0,188	0,214	0,300	0,130	0,208
Áreas edificadas					
ZDTI					
Área Cultural					
Áreas Agrícolas					
Áreas protegidas					
Aeroporto					
HIDROGEOLOGIA/HIDROLOGIA	0,375	0,429	0,300	0,522	0,406
Geologia					
Reserva hídrica subterrânea					
Ribeiras e eixos principais de água)					
MORFOLOGIA	0,062	0,143	0,100	0,087	0,098
Declive					
Orientação das vertentes					
ACESSIBILIDADE	0,375	0,214	0,300	0,261	0,288
Vias					
Acesso aos centros de produção dos RSU					
Total	1,00	1,00	1,00	1,00	100%

Etapa 3 – cálculo do máximo eigenvalue

	$\lambda_{máx}$
	1,109629545
	0,948038232
	0,980132997
	1,102209834
Total	4,140010609

Etapa 4 – cálculo do CI

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

$$CI = \frac{4,140010609 - 4}{4 - 1} = 0,0467$$

Etapa 5 e 6 – cálculo do RI e CR

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 \sim 10\%$$

$$CR = \frac{0,0467}{0,9} = 0,0519$$